

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Návrh napájení kabelových vozů pomocí transformátoru

Design of power cable car supply by transformer

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Krautstengel**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: **Návrh napájení kabelových vozů pomocí transformátoru**
Design of power cable car supply by transformer

Zásady pro vypracování:

- Popis a použití kabelových vozů pro napájení velkostrojů na Dolech Bílina
- Rozbor jednotlivých možností vlastního napájení kabelových vozů
- Výkonová bilance spotřebičů kabelového vozu
- Konkrétní návrh napájecího transformátoru pro vlastní spotřebu kabelového vozu
- Návrh jištění, krytí a umístění transformátoru v kabelovém voze
- Zhodnocení navržené varianty napájení s ohledem na provoz a transport kabelových vozů

Seznam doporučené odborné literatury:

- Bašta, J. a kol.: Teorie el. strojů, SNTL/ALFA 1968,
- Keppert, S., Čermák, T.: Transformátory, skriptum VŠB Ostrava, 1984
- Keppert, S.: Asynchronní stroje, skriptum VŠB Ostrava, 1984
- ČSN EN 60076
- Provozní dokumentace kabelového vozu

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Novák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

Datum odevzdání: 7. 5. 2014



.....
Bc. Martin Krautstengel

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval panu Ing. Novákovi Tomáši, Ph.D. za odborný dohled, cenné připomínky, ochotu a čas, který mi věnoval při tvorbě této diplomové práce.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je návrh náhradního napájení kabelového vozu. Vlastní napájení KVH je v současné době realizováno buď přímým připojením k napájecí soustavě zakladače anebo je použit vlastní dieselagregát, který je na něm umístěn.

Návrh tohoto napájení spočívá v nainstalování vhodného transformátoru, který by umožnil pokrytí vlastní spotřeby KVH a využíval by napěťové soustavy 6 kV, kterou nyní pouze přenáší ke koncovým zařízením základací technologie.

Součástí tohoto návrhu je jak způsob jeho jištění, krytí a umístění, tak i provedení nouzového bezpečnostního obvodu pro přerušení napájení na sekundární straně transformátoru v případě hrozícího nebezpečí.

Klíčová slova

Napájení, transformátor, jištění, kabelový vůz, shazovací vůz, zakladač

Abstract

The aim of this thesis is to design a replacement power supply of cable car. Its own power is currently provided either by direct connection to the power grid of spreader or used its own diesel generator, which is placed on it.

The design of this power supply is installed in a suitable transformer, which would allow own electricity of cable car and used by system voltage 6 kV, which is now only transmits to the terminal device technology foundation.

As part of this proposal is a way of protection, coverage and location as well as the implementation of emergency safety circuit to interrupt the power supply on the secondary side of transformer in case of danger.

Keywords

Power supply, transformer, protection, cable car, tripper car, spreader

Seznam použitých symbolů a zkratek

DB	Doly Bílina
I	Proud (A)
KVH	Kabelový vůz housenicový
L	Indukčnost (H)
N	Počet závitů vinutí (-)
P	Činný výkon (W)
Q	Teplo (J)
R	Elektrický odpor (Ω)
S	Zdánlivý výkon ($V \cdot A$)
SS	Spojovací skříň
SV	Shazovací vůz
TC	Technologický celek
TS	Transformátorová stanice
TSM	Transformátorová stanice mobilní (přesuvná)
U	Napětí (V)
VN	Vysoké napětí
X	Reaktance (Ω)
Z	Impedance (Ω)
Φ	Magnetický indukční tok (Wb)
$\cos \varphi$	Účinník (-)
f	Frekvence (Hz)
p	Převod (-)
t	Čas (s)

Obsah

Úvod.....	1
1 Transformátory – teoretický úvod.....	2
1.1 Rozdělení a použití transformátorů	2
1.1 Princip činnosti transformátoru	3
1.2 Ideální transformátor	3
1.3 Skutečný transformátor	5
1.4 Transformátor naprázdno	7
1.5 Transformátor nakrátko.....	9
1.6 Zapojení transformátorů.....	12
2 Kabelový vůz housenicový	14
2.1 Obecný popis a použití KVH	14
2.1.1 Vlastní napájení KVH.....	16
2.1.2 Napájení ze zakladače	16
2.1.3 Napájení z dieselagregátu	16
2.1.4 Napájení z transformátoru.....	18
2.2 Instalovaný výkon	18
2.2.1 Pojezd kabelového vozu.....	18
2.2.2 Kabelový buben	20
2.2.3 Ostatní rozvody nízkého napětí.....	20
2.3 Celkový jmenovitý proud.....	21
2.4 Měření průběhů U a I při rozjezdu KVH	22
2.4.1 Přenosný analyzátor Elspec G4500.....	22
2.4.2 Výsledky měření	23
3 Návrh napájení pomocí vlastního transformátoru.....	26
3.1 Požadavky kladené na transformátor	26
3.1.1 Požár velkstroje K800.5/K65	26
3.1.2 Výhody a nevýhody suchých transformátorů.....	27

3.2	Výkon transformátoru	29
4	Jištění	30
4.1	Vybavení transformátoru ochranami.....	30
4.2	Jištění primární strany transformátoru	30
4.2.1	Zásady jištění primární strany transformátoru proti nadproudům.....	32
4.2.2	Provozní proudy nepřesahují jmenovitý proud transformátoru	33
4.2.3	Provozní proudy přesahují jmenovitý proud transformátoru	33
4.2.4	Výběr pojistky	35
4.3	Jištění sekundární strany transformátoru.....	35
4.3.1	Zásady jištění transformátoru strany nn (sekundární) proti nadproudům	35
4.4	Kompaktní jističe Modeion.....	36
4.4.1	Nadproudová spoušť	37
5	Realizace napájení dle návrhu.....	39
5.1	Shrnutí návrhu a výběr komponent	39
5.2	Provedení návrhu	40
	Závěr	44

Úvod

Kabelový vůz, který je nosičem vysokonapětového vlečného kabelu 6 kV, je určen především k napájení těžební nebo zakládací technologie. Při báňských postupech dochází k jeho samostatnému pohybu, odvíjí nebo navíjí vlečný kabel na svůj kabelový buben v závislosti na tom, zda se spolu s velkstrojem vzdaluje nebo přibližuje k přípojnému napájecímu bodu.

Pro tyto své činnosti je KVH napájen prodlužovacím přívodem z napětové soustavy 525 V velkstroje. Pokud to z nějakého důvodu není možné, jako záložní zdroj mu slouží vlastní dieselagregát.

Z praxe vyvstala myšlenka, že by v některých případech mohlo být velmi výhodné, využít přenášené soustavy 6 kV ke krytí vlastní spotřeby kabelového vozu. K tomu by měl sloužit transformátor 6/0,525 kV umístěný přímo na kabelovém voze a napájený odbočkou z hlavního vedení 6 kV. O jeho výpočtu, výběru, umístění, zapojení a v neposlední řadě i jištění pojednává tato práce.

1 Transformátory – teoretický úvod

Transformátor je elektrický netočivý stroj, který pracuje na principu elektromagnetické indukce. Používá se k přeměně elektrické energie určitého střídavého napětí na elektrickou energii jiného, případně stejného napětí při zachování hodnoty výkonu a stejného kmitočtu. Skládá se z magnetického obvodu, primárního a sekundárního vinutí. Do primárního vinutí se elektrická energie přivádí, ze sekundárního se odvádí. Primárních i sekundárních vinutí může být i větší počet. Mezi výhody tohoto stroje patří jeho jednoduchý provoz, spolehlivost a nízká náročnost na obsluhu i údržbu oproti strojům točivým. [1]

1.1 Rozdělení a použití transformátorů

Transformátory se dnes používají v mnoha oblastech, od elektroniky až po silnoproudé rozvody. V silových rozvodech se používají pro zlepšení hospodárnosti přenosu elektrické energie, kde je nutno na značné vzdálenosti užívat velmi vysoká napětí. Elektrická energie je při přenosu od výrobce ke spotřebiteli i několikrát transformována, čímž je způsobeno, že výkon instalovaných transformátorů převyšuje instalované výkony ostatních elektrických strojů v energetickém rozvodu. Výkony transformátorů se pohybují od zlomků $V \cdot A$ do stovek $MV \cdot A$.

Transformátory se dělí zejména:

- **Dle počtu fází** - jednofázové, dvoufázové, třífázové, šestifázové, dvanáctifázové a s různým počtem fází
- **Dle způsobu chlazení** - vzduchové (suché), ovívané, olejové, plynové, pískové, zalité
- **Dle počtu vinutí** - se dvěma, se třemi nebo s více vinutími, autotransformátory
- **Dle provedení** - venkovní, do místnosti, do dolů, stabilní, přenosné, mobilní, pojízdné
- **Dle provedení magnetického obvodu** - plášťové, prstencové, souměrné rovinné, jádrové se dvěma, třemi, čtyřmi a pěti jádry
- **Elektrárenské** - slouží ke zvyšování napětí alternátorů pro síť
- **Síťové** - snižují napětí přenosu na rozvodné napětí VN nebo VVN
- **Distribuční** – snižují VN na NN, mají většinou pouze neřiditelné odbočky
- **Rurální** - umísťují se do řídky obydlených oblastí, důraz je kladen na nízkou hmotnost z důvodů montáže na stožáry a malé ztráty v železe
- **Pro zvláštní účely** - pecní, svařovací, ohřívací, zkušební apod.
- **Zvláštních vlastností** - stíněné, nevýbušné, nekmitavé, bezpečné proti požáru apod.
- **U kterých nerozhoduje výkon** - měřicí transformátory napětí a proudu apod. [4]

1.1 Princip činnosti transformátoru

Jeho princip (Obr. 1) je založen na zákonu elektromagnetické indukce. Magnetický tok vybuzený jedním vinutím indukuje napětí ve vinutí druhém. Magnetický tok je z jednoho vinutí do druhého veden prostřednictvím magnetického obvodu. Fyzikální princip vychází z druhé Maxwellovy rovnice. Magnetický obvod tedy slouží jako magnetický vodič. Magnetický tok Φ se dělí na hlavní tok Φ_h , který se uzavírá magnetickým obvodem a rozptylový tok Φ_σ , který zabírá pouze s vinutím, které jej vybudilo. [2]

1.2 Ideální transformátor

Pro ideální transformátor platí zjednodušující podmínky:

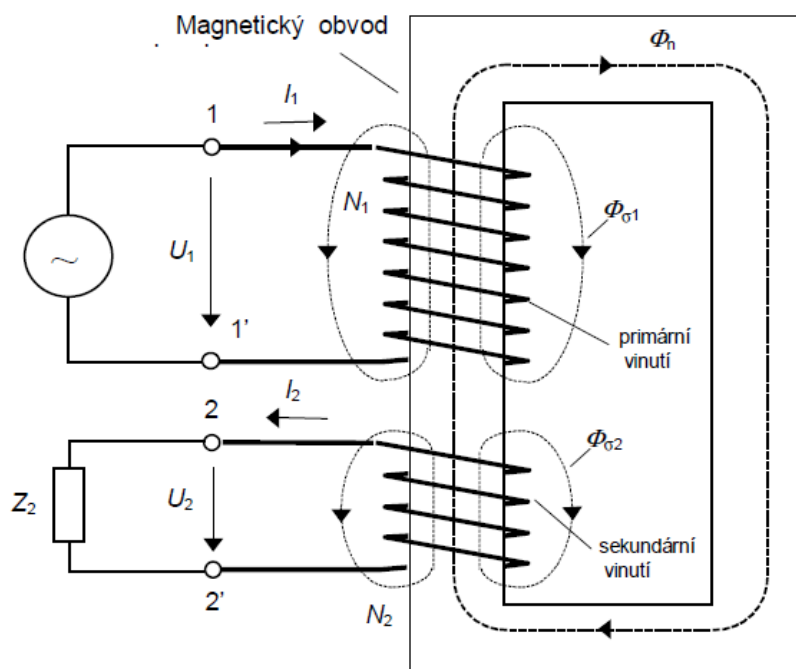
Celkové ztráty a činné odpory obou vinutí jsou nulové

$$\Sigma \Delta P = 0, \quad R_1 = 0, \quad R_2 = 0$$

Rozptylové toky jsou nulové

$$\Phi_{\sigma 1} = 0, \quad \Phi_{\sigma 2} = 0$$

Celý magnetický tok Φ_h prochází všemi závity primárního a sekundárního vinutí



Obr. 1 Schéma jednofázového transformátoru [2]

Okamžitá hodnota indukovaných napětí je:

$$u_{i1}(t) = \frac{d\Psi_1}{dt} \quad u_{i2}(t) = \frac{d\Psi_2}{dt} \quad [\text{V}; \text{Wb}, \text{s}] \quad (1.01)$$

kde Ψ_m jsou spřažené toky:

$$\Psi_1 = N_1 \cdot \Phi \quad \Psi_2 = N_2 \cdot \Phi \quad [\text{Wb}; -, \text{Wb}]. \quad (1.02)$$

Poté lze napsat rovnici pro indukované napětí ve tvaru:

$$u_{i1}(t) = N_1 \frac{d\Phi(t)}{dt} \quad u_{i2}(t) = N_2 \frac{d\Phi(t)}{dt} \quad [\text{V}; -, \text{Wb}, \text{s}]. \quad (1.03)$$

V případě harmonických průběhů napětí transformátoru lze odvodit vztahy pro efektivní hodnotu indukovaného napětí ve tvaru:

$$U_i = \frac{U_{im}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi \cdot f}{\sqrt{2}} \cdot N \cdot \Phi_m = 4,44 \cdot N \cdot \Phi_m \cdot f \quad (1.04)$$

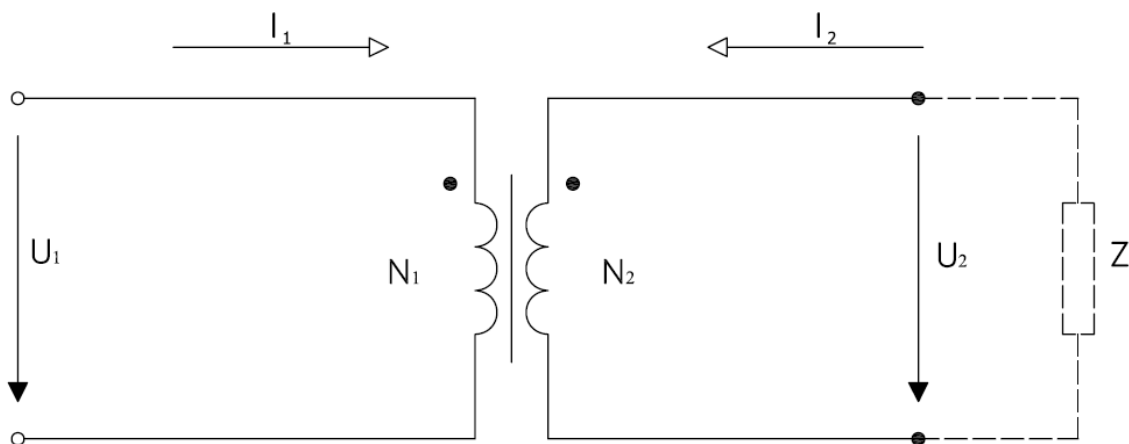
a pro jednotlivá vinutí:

$$U_{i1} = 4,44 \cdot N_1 \cdot \Phi_m \cdot f_1 \quad U_{i2} = 4,44 \cdot N_2 \cdot \Phi_m \cdot f_2 \quad [\text{V}; -, \text{Wb}, \text{Hz}] \quad (1.05)$$

kde Φ_m je magnetický tok a U_{im} je amplituda indukovaného napětí. Z výše uvedených vztahů lze určit převod transformátoru:

$$p = \frac{U_{i1}}{U_{i2}} = \frac{N_1}{N_2} \cong \frac{I_2}{I_1} \quad (1.06)$$

Ideální transformátor je charakterizován jediným parametrem, a to převodem „p“. Nemá žádné ztráty, převádí pouze odpovídající veličiny a parametry podle počtu závitů. Říkáme, že převádíme veličiny jednoho vinutí na počet závitů druhého vinutí. Poměry na transformátoru, magnetomotorické napětí a výkony zůstávají nezměněny. [2]

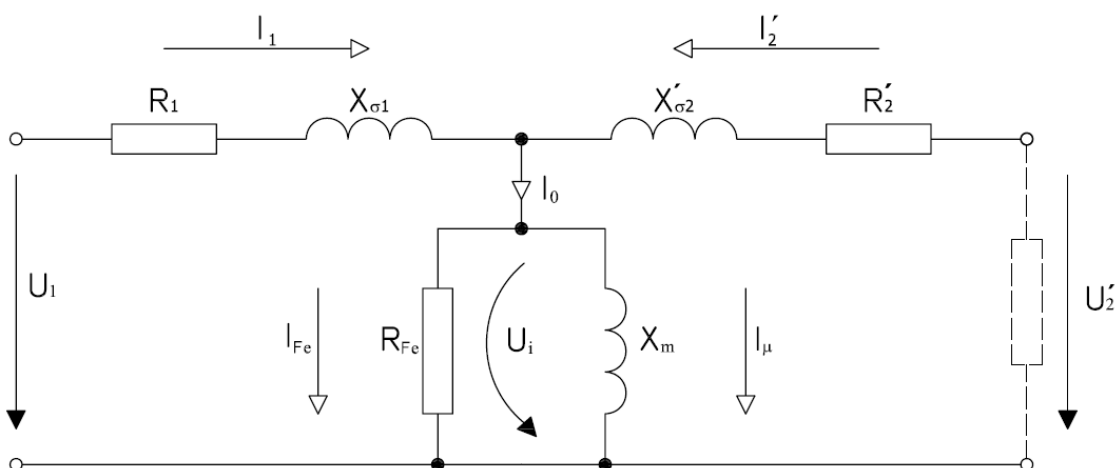


Obr. 2 Náhradní schéma ideálního transformátoru [3]

1.3 Skutečný transformátor

Při připojení zdroje harmonického napětí U_1 na primární vinutí, začne jím protékat harmonický proud I_1 . Ten vytvoří střídavý hlavní magnetický tok Φ_h , který se uzavírá jádrem a současně i rozptylové toky $\Phi_{\sigma 1}$ a $\Phi_{\sigma 2}$, které se uzavírají vzduchem.

Střídavou změnou hlavního magnetického toku $d\Phi/dt$ se indukuje do jednoho závitu primárního i sekundárního vinutí indukované napětí U_{ind} a v jednotlivých vinutích pak indukovaná napětí o velikostech úměrných počtům závitů N_1 , N_2 jednotlivých vinutí.



Obr. 3 Náhradní schéma skutečného transformátoru [3]

Připojením zátěžné impedance Z_2 na svorky sekundárního vinutí, začne tímto vinutím a zátěží procházet sekundární proud I_2 a do zátěže je dodáván výkon P_2 .

Jelikož skutečný transformátor vykazuje při své činnosti činné ztráty ΔP a má také rozptylové toky kolem vinutí $\Phi_{\sigma 1}$ a $\Phi_{\sigma 2}$, vyjadřujeme v náhradním schématu ztráty v primárním a sekundárním vinutí pomocí nenulových rezistorů R_1 a R_2 a činné ztráty v magnetickém obvodu fiktivním rezistorem R_{Fe} . Rozptylové toky $\Phi_{\sigma 1}$ a $\Phi_{\sigma 2}$ uzavírající se vzduchem, nahrazujeme rozptylovými reaktancemi $jX_{\sigma 1}$ a $jX_{\sigma 2}$. Hlavní magnetický tok Φ_h vyjádříme hlavní magnetizační reaktancí jX_h . Veličiny U_2' , I_2' , R_2' , $jX_{\sigma 2}'$ jsou veličiny přepočítané pomocí převodu na primární vztahnou stranu z důvodu kvantifikačního srovnání hodnot.

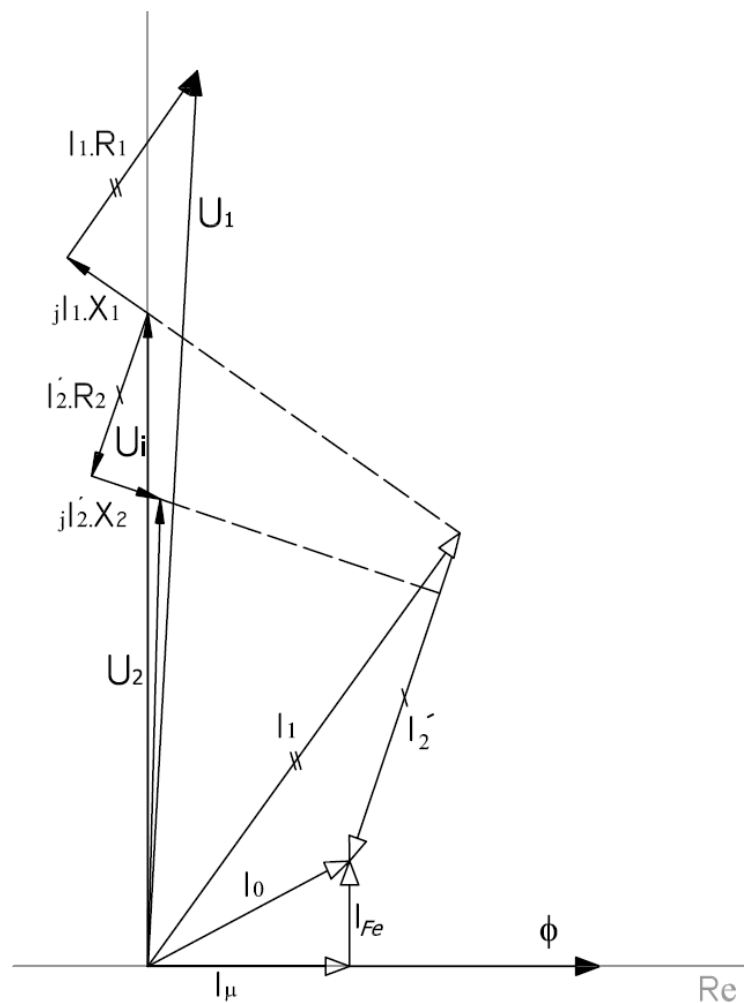
Popisem náhradního schématu skutečného transformátoru pomocí Kirchhoffových zákonů, získáme základní rovnice, které charakterizují transformátor ve všech provozních stavech. [2]

Rovnice mají tvar:

$$\overline{U_1} = \overline{U_i} + (R_1 + jX_{\sigma 1}) \cdot \overline{I_1} \quad (1.07)$$

$$\overline{U_2'} = \overline{U_i} + (R_2' + jX_{\sigma 2}') \cdot \overline{I_2'} \quad (1.08)$$

$$\overline{I_1} + \overline{I_2'} = \overline{I_0} = \overline{I_{Fe}} + \overline{I_{\mu}} \quad (1.09)$$



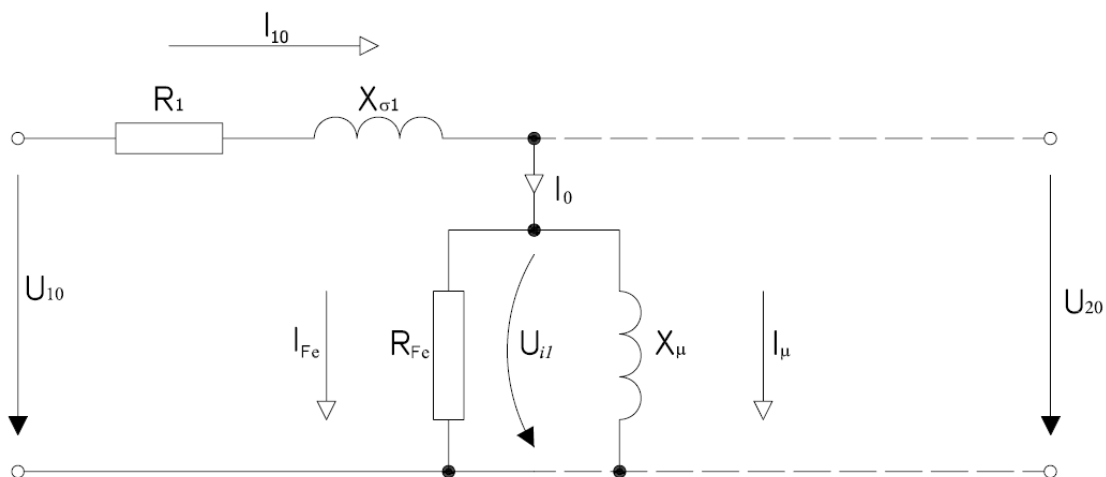
Obr. 4 Fázorový diagram skutečného transformátoru [3]

1.4 Transformátor naprázdno

Jedná se o takový provozní stav, kdy je primární vinutí připojeno ke jmenovitému napětí U_{1N} a svorky sekundárního vinutí jsou rozpojeny. Transformátor nedodává žádný výkon.

$$Z_2 = \infty \Rightarrow I_2 = 0$$

$$P_2 = 0$$



Obr. 5 Náhradní schéma transformátoru naprázdno [3]

Rovnice dle náhradního schématu mají tvar:

$$\overline{U_{10}} = \overline{U_{i1}} + (R_1 + jX_{\sigma1}) \cdot \overline{I_{10}} \quad (1.10)$$

$$\overline{U_{20}} = \overline{U_{i1}} \quad (1.11)$$

$$\overline{I_{10}} = \overline{I_0} = \overline{I_{Fe}} + \overline{I_{\mu}} \quad (1.12)$$

Celý příkon, odebíraný transformátorem ze sítě, slouží ke krytí ztrát naprázdno.

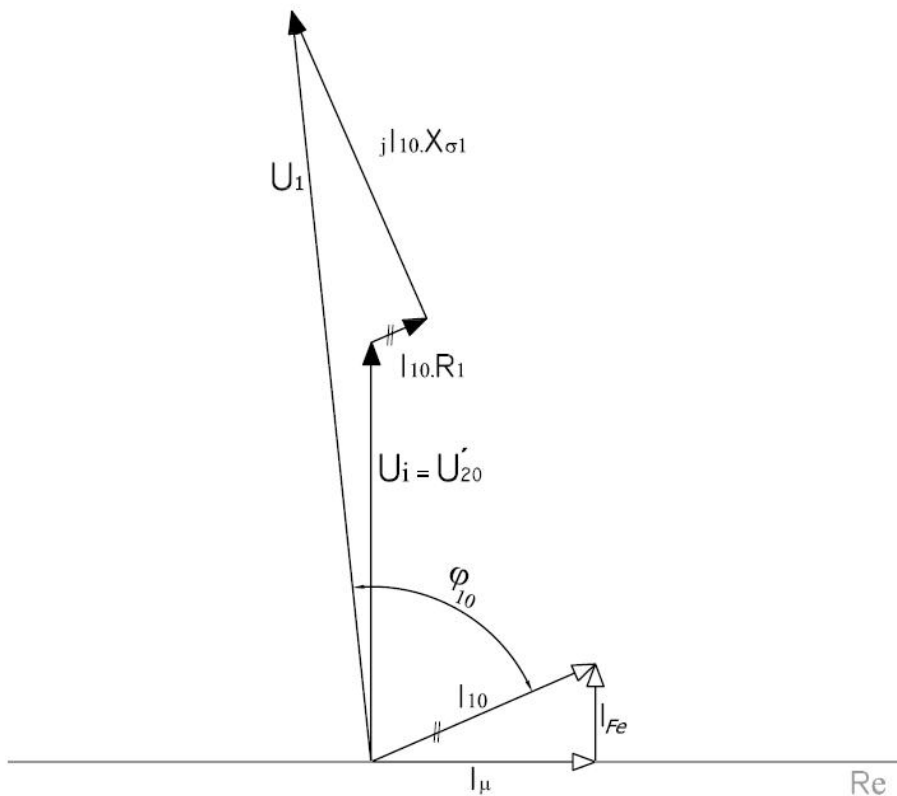
$$\Delta P_{10} = \Delta P_{Fe} + R_1 \cdot I_{10}^2 \quad [\text{W}; \text{W}, \Omega, \text{A}] \quad (1.13)$$

Vzhledem k tomu, že ztráty v primárním vinutí jsou malé díky malé velikosti proudu naprázdno I_{10} , můžeme je v praktických výpočtech zanedbat.

Měřením napětí při stavu naprázdno se určuje převod:

$$p = \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad [-; \text{V}, \text{V}] \quad (1.14)$$

Nízký $\cos\varphi_{10}$ má nepříznivý vliv na napájecí síť. Většinu jalové energie odebírá transformátor k magnetování jádra. Tento stav je nežádoucí i přesto, že celkové ztráty transformátoru jsou velmi malé. [2]



Obr. 6 Fázorový diagram transformátoru naprázdno [3]

1.5 Transformátor nakrátko

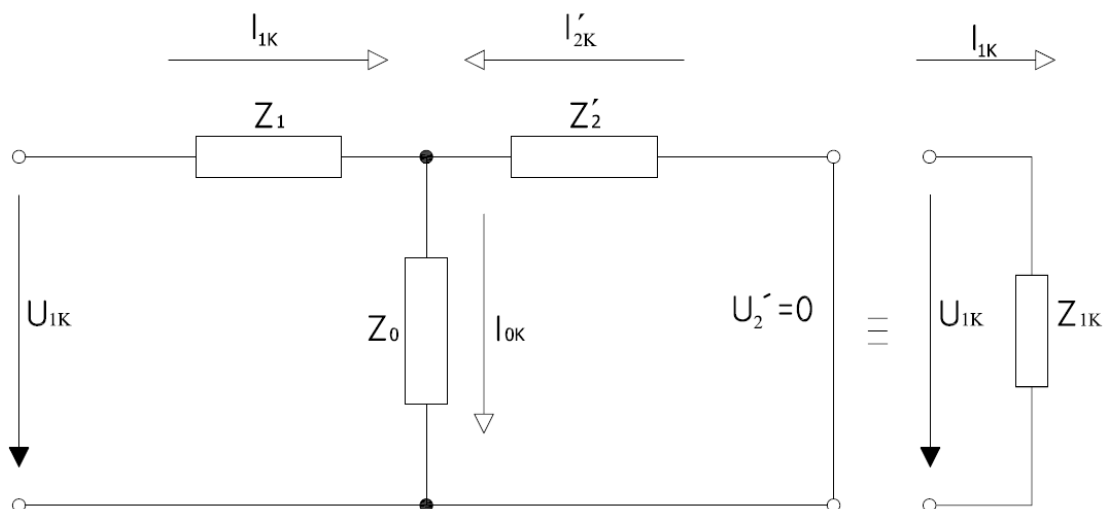
Jedná se o takový provozní stav, kdy jsou svorky sekundárního vinutí zkratovány bezimpedanční spojkou. Transformátor nedodává žádný výkon.

$$Z_2 = 0 \Rightarrow U'_2 = 0$$

$$P_2 = 0$$

Celý příkon transformátoru nakrátko P_{1K} se mění v činné ztráty ΔP . Celkové ztráty jsou hlavně dány Jouleovými ztrátami ve vinutí ΔP_{Cu} a přídavnými ztrátami ΔP_d , přičemž ztráty ΔP_{Fe} jsou zanedbatelné.

Celková impedance nakrátko Z_{1K} je malá, proto je proud I_{1K} mnohonásobně (7 až 35 krát) větší než I_{IN} a je pro transformátor velmi nebezpečný.

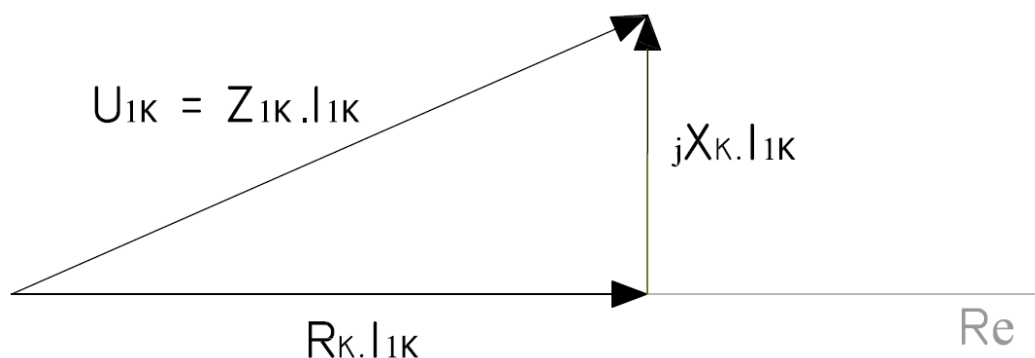


Obr. 7 Náhradní schéma transformátoru nakrátko [3]

Z náhradního schématu vyplývá:

$$\overline{I_{1K}} = \frac{\overline{U_{1K}}}{\overline{Z_{1K}}} \quad (1.15)$$

$$\overline{Z_{1K}} = \overline{Z_1} + \frac{\overline{Z_2} \cdot \overline{Z_0}}{\overline{Z_2} + \overline{Z_0}} \quad (1.16)$$



Obr. 8 Fázorový diagram transformátoru nakrátko [3]

Důležitým parametrem, udávajícím zkratovou odolnost transformátoru je procentní napětí nakrátko $u_{k\%}$.

$$u_{k\%} = \frac{U_{1K}}{U_{1N}} \cdot 100 \quad [\%; V, V] \quad (1.17)$$

Velikost skutečného ustáleného zkratového proudu určíme pomocí $u_{k\%}$.

$$I_{1K} = \frac{I_{1N}}{u_{k\%}} \cdot 100 \quad [A; A, \%;] \quad (1.18)$$

Velikost napětí nakrátko je dále ukazatelem zdánlivého vnitřního odporu transformátoru. Nízké relativní napětí nakrátko (u_k v %) je známkou malého vnitřního odporu, což znamená, že výstupní napětí při zatížení jen málo poklesne. [2]

Transformátory s malým zkratovým napětím jsou tvrdé zdroje napětí.

Transformátory s velkým zkratovým napětím jsou měkké zdroje napětí.

1.6 Zapojení transformátorů

Charakteristickým údajem o zapojení vinutí trojfázového transformátoru je tzv. hodinový úhel, který udává fázový posun mezi fázorem vstupního a výstupního napětí v hodinách, přičemž úhel 30° představuje jednu hodinu. Udává vždy zpoždění výstupního napětí za vstupním napětím.

Základní vnitřní napojení transformátorů jsou hvězda (Y, y), trojúhelník (D, d) a lomená hvězda (Z, z). Velkým písmenem se označuje zapojení vinutí s vyšším napětím, malým písmenem zapojení vinutí s nižším napětím.

Zapojení Yy se používá v sítích, v nichž zatížení nulového vodiče nemůže překročit 20 % zatížení fáze nebo v nichž nulový vodič není vůbec vyveden. Větší transformátory potlačují vliv nesouměrného zatížení pomocným vyrovnávacím vinutím (terciárním), zapojeným do trojúhelníka (Yy 0/d) s převodem např. 110/23/6,3 kV.

Zapojení Dy se používá u výkonů transformátorů nad 400 kV·A, je-li jejich nulový vodič vyveden a zatížen (i plně). Vstupní vinutí zapojené do trojúhelníka působí jako vyrovnávací a potlačuje vliv nesouměrného zatížení transformátoru.

Zapojení Yd nepotřebuje vyrovnávací vinutí. Je výhodné pro největší transformátorové jednotky v elektrizační soustavě.

Zapojení Dd se používá u trojfázové skupiny složené ze tří jednofázových transformátorů. Při poruše jednoho z nich spojíme zbývající dva do V, čímž vznikne trojfázová soustava s menším výkonem, ale schopná provozu. Zapojení vinutí se v tom případě označuje Vv.

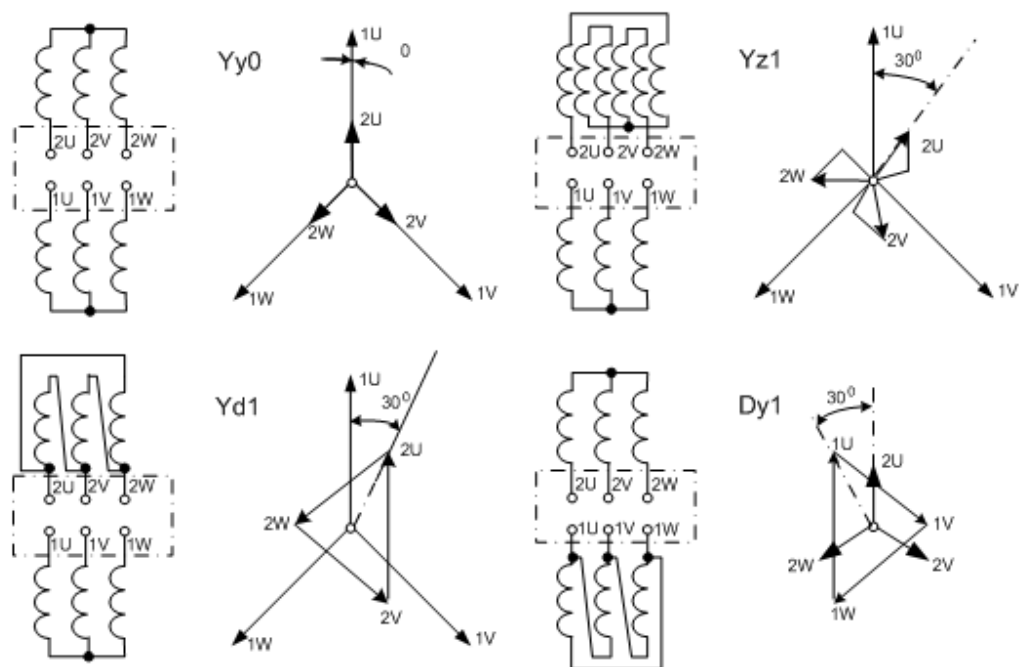
Zapojení Yz se používá do výkonu transformátorů 315 kV·A (400 kV·A), které napájejí sekundární síť nn s nesouměrným zatížením nulového vodiče nad 20 % jmenovitého proudu.

Zapojení V lze použít, jak již bylo uvedeno, při poruše některého jednofázového transformátoru z trojfázové skupiny (3 x Dd). Takto lze však spojovat i měřicí transformátory napětí při měření v trojfázové soustavě vn a vvn.

Zapojení T (tzv. Scottovo) slouží k přeměně dvoufázové soustavy na trojfázovou a naopak, čehož se využívá k napájení dvou jednofázových úseků elektrické trakce z trojfázové sítě nebo k napájení jednofázových obloukových pecí.

V energetických zařízeních se používá zapojení YyO, Yd1, Dy1 a Yz1. Jiná zapojení se používají v elektrizační soustavě pouze tam, kde má paralelně spolupracovat nový a stávající transformátor. Výkony trojfázových transformátorů jsou i značně velké, protože výkony turboalternátorů dosahují hodnot nad 1000 MV·A. [4]

Příklady nejčastěji zapojených vinutí trojfázových transformátorů jsou na Obr. 9.



Obr. 9 Zapojení vinutí trojfázových transformátorů [8]

2 Kabelový vůz housenicový

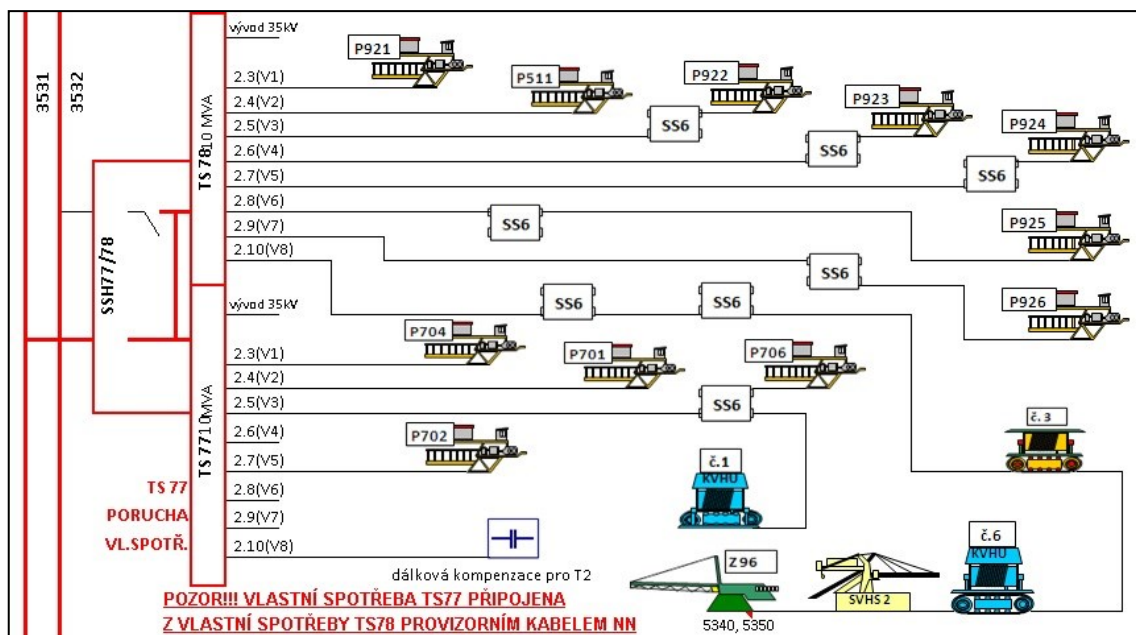
2.1 Obecný popis a použití KVH

Kabelové vozy (Obr. 10) jsou určeny jako mobilní nosiče vlečného kabelu pro pohyblivé napájení velkostrojů v jednotlivých těžebních a zakládacích řezech při pevně připojeném napájecím kabelu a pro snadnou změnu napájecího místa. Tímto je zajištěn pohyb těchto velkostrojů po celé délce i šířce svých řezů, ať již při těžbě nebo sypaní anebo při přesunech mezi jednotlivými řezy.



Obr. 10 Kabelový vůz housenicový

Na Obr. 11 je schematicky znázorněno konkrétní zapojení napájecích vývodů TS pro jednotlivá těžební zařízení, směřování vlečných kabelů, umístění a počet jednotlivých spojovacích skříní SS 6, nebo SS 35 včetně jejich propojení do poháněcích stanic dálkové pásové dopravy DPD, nebo přes kabelové vozy, v tomto případě č. 6 a č. 3, do shazovacího vozu SV 1800 a poté do zakladače Z 96.



Obr. 11 Schéma napájení technologických celků [5]

Podstatné součásti kabelového vozu jsou housenicový podvozek, umožňující jízdu v podmínkách dolu maximální rychlostí $12 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ při maximálním stoupání 1:20, což je převýšení o 5 metrů na 100 metrů pojezdové dráhy kabelového vozu. Dále je to kabelový buben obsahující 1200 až 1500 m ve dvou vrstvách navinutého vlečného kabelu typu 6-HVTDU, nebo nově 6-CHCU $3 \times 120 + 3 \times 16 \text{ mm}^2$. Napájení spotřebičů kabelového vozu při samostatné jízdě obstarává vlastní dieselagregát $75 \text{ kV} \cdot \text{A}$, většinou typu ČSAD 60-3-500, pokud jím je kabelový vůz vybaven. V běžném provozu, kdy je kabelový vůz připojen na zakladač, je dieselagregát odpojen a vlastní spotřebu KVH kryje hlavní transformátor 6/0,525 kV umístěný na zakladači.

Kabelový vůz je řízen obsluhou. Řízení a ovládání všech pohonů je soustředěno do dvoudílného ovládacího pultu v kabině KVH. Všechny silové spínací a jističí prvky jsou v hlavním rozvaděči, umístěném na přední plošině v prostoru částečně chráněném zástěnou proti klimatickým vlivům.

V běžném provozu zakladače je kabelový vůz spojen se zakladačem smyčkou, vedoucí ze spojovacího mostu zakladače na rameno kabelového vozu obsahující kabel 6 kV napojení zakladače a kabel 500 V napojení kabelového vozu. Umístění kabelového vozu u zakladače během normálního provozu musí být takové, aby kabelová smyčka byla pokud možno kolmo na spojovací most zakladače a aby se částečně dotýkala země, čímž se zajistí, že se smyčka nepřekroutí a kabely neuvolní z příchytů.

Vysokonapěťový rozvod na kabelovém voze je proveden kabelem 6-CHCU $3 \times 120 + 3 \times 16$, který je veden od napájecího místa chobotem na řádkovači na buben, přes kroužkový sběrač

na odpojovač a přes rameno a smyčku do připojovací skříně na shazovacím voze nebo spojovacím mostě zakladače dle varianty připojení velkostroje. V podstatě jsou možné dvě varianty. V prvním případě je z kabelového vozu veden napájecí kabel 6 kV nejprve na shazovací vůz a odtud odbočkou na zakladač, nebo opačně, nejprve na zakladač a poté odbočkou na shazovací vůz. [6]

2.1.1 Vlastní napájení KVH

Kabelový vůz je možno v současné době napájet z transformátoru na zakladači nebo z vlastního dieselagregátu, pokud je jím kabelový vůz vybaven.

Na kabelovém voze jsou použity tyto napěťové soustavy:

Převáděná síť: 3PE~50 Hz, 6000V /IT

Napájecí síť pro kabelový vůz: 3PE~50 Hz, 525V /IT

Světelné a zásuvkové a ovládací obvody: 3PE~50 Hz 230V /IT

2.1.2 Napájení ze zakladače

Ze zakladače je kabelový vůz napájen kabelem H07RN-F 4G35 z rozvaděče RM 2-2 v rozvodně nn na spojovacím mostě zakladače, kde je jištěn pojistkami P-22/125 A a je veden přes čtyřpólové zásuvky 3PE 500 V/125 A na spojovacím mostě a smyčkou do rozvaděče R-6 na kabelovém voze.

2.1.3 Napájení z dieselagregátu

Pokud je jím kabelový vůz vybaven, je jako zdroj elektrické energie pro samostatnou funkci kabelového vozu použit dieselagregát ČSAD 60-3-500, umístěný na zadní plošině kabelového vozu (Obr. 12).

Soustava dieselagregátu se skládá z naftového motoru a bezkroužkového alternátoru s bezkontaktním regulátorem napětí. Spolu s elektrickým rozvaděčem jsou uloženy na nosném rámu. Zde je také umístěna palivová nádrž, skříň akumulátorů a kapota, která chrání funkční části před povětrnostními vlivy a před poškozením.

Ochrana proti nebezpečnému dotykovému napětí je provedena zemněním v soustavě s izolovaným nulovým bodem. Z tohoto důvodu je stroj vybaven hlídačem izolačního stavu pro stálou kontrolu izolačního stavu.



Obr. 12 Dieselagregát KVH

Jištění napájení z dieselagregátu je provedeno jističem typu J2RU51B s jmenovitým proudem $I_N = 82 \text{ A}$, umístěném v rozvaděči dieselagregátu.

Pro pohon alternátoru je použit naftový čtyřtákní, vzduchem chlazený, osmiválcový motor Tatra T 928-62, s uspořádáním válců do „V“.

Zdrojem elektrické energie je třífázový čtyřpólový alternátor typu BGC 9104, který se skládá z vlastního alternátoru, pomocného alternátoru (střídavý budič) a rotujícího usměrňovače. Hladké listové rotory hlavního a pomocného alternátoru spolu s rotujícím usměrňovačem jsou umístěny na společné hřídeli.

Vinutí statoru alternátoru je dvouvrstvé, vsypávané a zapojené do hvězdy. Vývody ze statoru jsou vyvedeny přímo na svorky v rozvaděči.

Napětí alternátoru reguluje automatický tyristorový regulátor napětí R 059 C a provozní napětí dieselagregátu je udržované s přesností $\pm 3 \%$ ($\pm 15 \text{ V}$) na jmenovité hodnotě 500 V sdruženého napětí v celém rozsahu zatížení od 0 do 100 % jmenovitého výkonu 60 kW , při účinnosti $\cos \varphi = 0,8$ až 1. [7]

Štítkové údaje dieselagregátu ČSAD 60-3-500:

Jmenovitý výkon	60 kW (75 kV·A)
Jmenovitý proud	86,6 A
Jmenovité napětí	3x500 V
Frekvence	50 Hz
Účinník $\cos \varphi$	0,8

2.1.4 Napájení z transformátoru

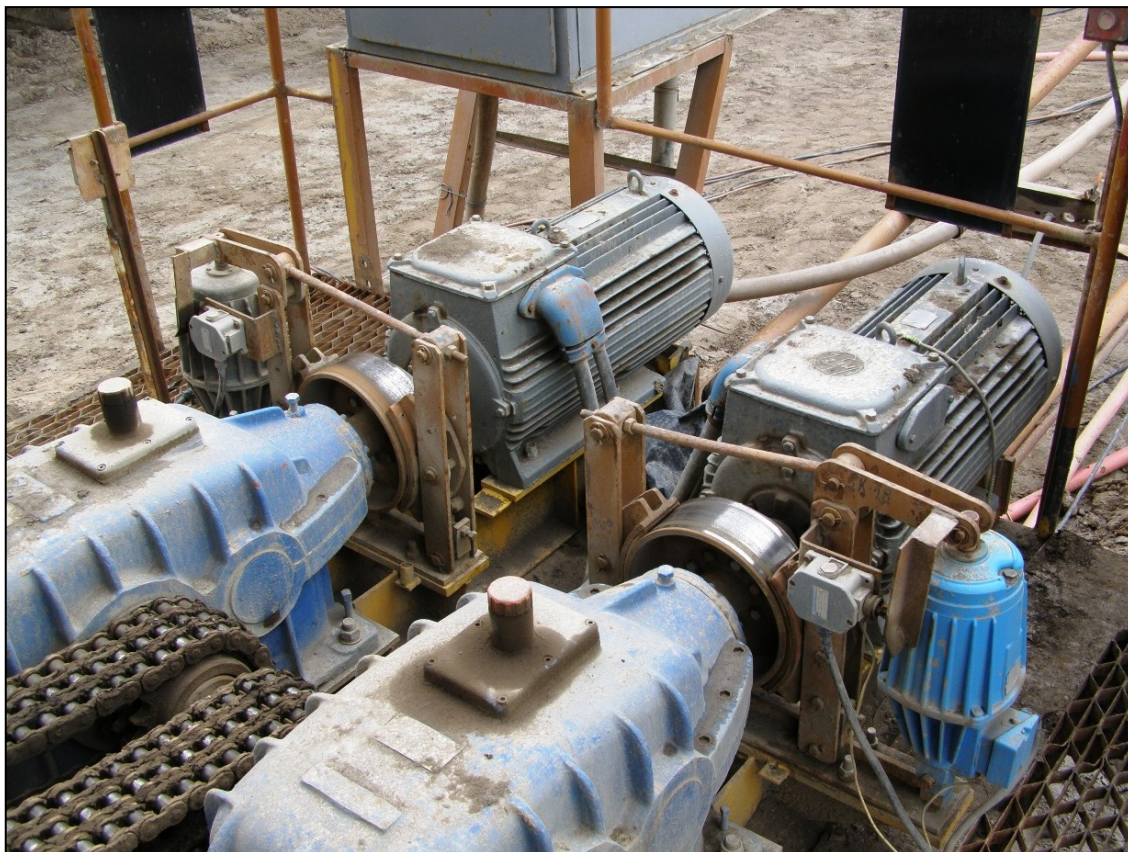
Návrh tohoto napájení je předmětem této práce. Jedná se o napájení z vlastního transformátoru, který bude umístěn na kabelovém voze. Toto napájení bude řešeno odbočkou z napěťové soustavy 3PE~50 Hz, 6000 V/IT, kterou kabelový vůz přenáší od přípojného bodu směrem k zakladači.

2.2 Instalovaný výkon

Instalovaný výkon zahrnuje všechny elektrické spotřebiče umístěné na kabelovém voze. Jejich podrobná specifikace je uvedena v dalších podkapitolách.

2.2.1 Pojezd kabelového vozu

Každá housenice je poháněna asynchronním motorem s kroužkovou kotvou G 200L 04A o výkonu 30 kW, který je vybaven třístupňovou regulací otáček odporníkem v rotoru. Jednotlivé rotorové stupně spínají při zařazeném pojezdu. Každý pohon housenice je vybaven elektrohydraulickým odbrzdovačem typu Elhy EP 125/60 P80 a koncovým vypínačem odbrzdění. Ovládací prvky pojezdu jsou soustředěny v ovládacích pultech DT1 (pro levou housenici) a DT2 (pro pravou housenici). Každá housenice se ovládá samostatně směrovým spínačem Q1.7 a Q1.8, kterými se volí smysl pojezdu příslušné housenice (vpřed / vzad) a rychlost pojezdu. Sepnutím uvedených ovladačů pojezdu nabíhají příslušná směrová relé a rychlostní relé, která spínají stykače pojezdu a stykače rotorových stupňů. Směrová relé dále odbrzdí příslušnou housenici a po odbrzdění spínají hlavní směrový stykač motorů pojezdu. [6]



Obr. 13 Detail pohonů pojezdu KVH

Štítkové údaje motoru G 200L 04A:

Jmenovitý výkon	30 kW
Jmenovitý proud	44 A
Jmenovité napětí	3x500 V
Jmenovité otáčky	1455 ot/min
Frekvence	50 Hz

Štítkové údaje Elhy EP 125/60 P 80:

Jmenovitý výkon	0,35 kW
Jmenovitý proud	0,6 A
Jmenovité napětí	3x500 V
Frekvence	50 Hz

2.2.2 Kabelový buben

Pohon otáčení kabelového bubnu je vybaven motorem LA 7130-4AA50 o výkonu 5,5 kW. Reverzace otáčení kabelového bubnu je řešena změnou polohy ovladače Q1.4. Ovládací prvek otáčení kabelového bubnu je umístěn v ovládacím pultu DT1. Spínačem Q1.4 se volí směr otáčení kabelového bubnu (navíjení nebo odvíjení kabelu vždy s plnou rychlostí otáček 100 %). [6]

Štítkové údaje motoru LA 7130-4AA50:

Jmenovitý výkon	5,5 kW
Jmenovitý proud	9,1 A
Jmenovité napětí	3x500 V
Jmenovité otáčky	1455 ot/min
Frekvence	50 Hz
Účinník $\cos \varphi$	0,81

2.2.3 Ostatní rozvody nízkého napětí

Na přívod 500 V je připojen vzduchový transformátor s označením T2.2 a s převodem 3x500 V/3x230 V, 50 Hz, o výkonu 6,3 kV·A, který zajišťuje napájení světelných a zásuvkových obvodů. Tento transformátor je připojen tak, že zůstává zapnutý i v případě vypnutí elektrického zařízení kabelového vozu „nouzovým zastavením“. Ovladače osvětlení jsou umístěny na pultu DT2 v kabině obsluhy.

Dále je zde umístěn transformátor s označením T1.2 s převodem 500 V/230 V, 50 Hz o výkonu 315 VA, který je také napojen na hlavní přívod 500 V a slouží pro napájení ovládacích obvodů kabelového vozu.

Pro usnadnění údržby je na voze instalována zásuvka 500 V, 32 A a zásuvky jednonásobné 230 V/16 A.

Pro možnost nouzového zastavení kabelového vozu je do přívodu 500 V zařazen stykač K1.2, který po stlačení tlačítek „NOUZOVĚ STOP“ vypíná přívod k přípojnicím 500 V. To znamená zastavení všech pohybů kabelového vozu. Osvětlení, vytápění a ovládací obvody kabelového vozu zůstávají nadále pod napětím.

Opětne zapnutí soustavy 500 V se provede stlačením ovladače S5.11, který je umístěn v ovládacím pultu anebo stlačením ovladače S7.11, který je umístěn na dveřích rozvaděče RM1. Opětne zapnutí hlavního stykače je možné za předpokladu, že ovladače Q1.4 (ovládání kabelového bubnu), Q1.7 (ovládání levé housenice) a Q1.8 (ovládání pravé housenice) jsou nastaveny v nulové poloze. Dále je potřeba zkontrolovat a popřípadě odblokovat tlačítka nouzového zastavení. [6]

2.3 Celkový jmenovitý proud

Pro volbu vhodného napájecího transformátoru je nutné znát nebo vypočítat jmenovité proudy jednotlivých spotřebičů instalovaných na kabelovém voze.

Výpočet jmenovitého proudu transformátoru 6,3 kV·A, 3x500 V:

$$S_{Tr1} = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_N \Rightarrow I_n = \frac{S_{Tr1}}{\sqrt{3} \cdot U_s} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 500} = 7,3 \text{ A} \quad (1.19)$$

Výpočet jmenovitého proudu transformátoru 0,315kV·A, 500V:

$$S_{Tr2} = U_s \cdot I_N \Rightarrow I_N = \frac{S_{Tr2}}{U_s} = \frac{315}{500} = 0,63 \text{ A} \quad (1.20)$$

Součet všech jmenovitých hodnot proudů:

$$I_{N_{celk}} = \sum I_N = 88 + 9,1 + 1,2 + 7,3 + 0,63 = 106,23 \text{ A} \quad (1.21)$$

Tab. 1 Celková bilance KVH

Motory pojezdů	2 x 44 A	88 A
Motor navíjení bubnu	1 x 9,1 A	9,1 A
Elhy brzd	2 x 0,6 A	1,2 A
Transformátor 6,3 kV·A	1 x 7,3 A	7,3 A
Transformátor 0,315 kV·A	1 x 0,63 A	0,63 A
Celkem		106,23 A

Jmenovitý proud rozvaděče RM1 a pro volbu transformátoru je (po zaokrouhlení) stanoven na hodnotu $I_N = 107 \text{ A}$.

2.4 Měření průběhů U a I při rozjezdu KVH

Pro optimalizaci návrhu bylo provedeno měření napětí a proudu při rozjezdu kabelového vozu přenosným síťovým analyzátozem Blackbox G4500 od izraelského výrobce Elspec.

2.4.1 Přenosný analyzátor Elspec G4500

Tento přístroj nese označení Blackbox G4500. Na rozdíl od pevných analyzátorů, které proud měří interními proudovými transformátory, je G4500 vybaven vstupy pro připojení měřicích kleští, sond ampflex nebo běžných kleští. Standardně je vybaven pamětí 8 GB a integrovanou kartou Wi-Fi pro snadné připojení k řídicímu počítači. Signál vzorkuje s maximální rychlostí 1024 vzorků na periodu.

Analyzátor Elspec vytváří nepřetržitý záznam všech napětí a proudů se vzorkovací rychlostí až 1024 vzorků na jednu periodu měřeného signálu (při 50 Hz tedy 20 ms). Díky tomu je schopen zachytit i krátké přechodné děje. Ukládání obrovského množství dat získaných při takovém záznamu je řešeno jejich kompresí. Není však použit běžný způsob komprese dat známý z techniky PC. Je použita speciální patentovaná procedura PQZIP společnosti Elspec, kdy je ukládána změna Fourierova obrazu daného průběhu. V případě, že jsou vstupní veličiny „klidné“, je potřeba datového prostoru minimální. Objev-li se v síti např. krátký přechodový děj, množství dat vzroste, nicméně stále je vzorkováno plným počtem vzorků.

Analyzátor G4500 je zobrazen na Obr. 14. Jde v podstatě o „černou skříňku“ vybavenou měřicími vstupy a komunikačním rozhraním. Ovládání je zprostředkováno průmyslovým počítačem s dotykovou obrazovkou. Tento počítač se zároveň používá pro ukládání naměřených údajů a jejich následné zpracování. Komunikace mezi počítačem a analyzátozem probíhá přes ethernetové rozhraní nebo bezdrátově pomocí komunikace Wi-Fi. Analyzátor spadá do kategorie A analyzátorů kvality elektrické energie. Měří proud i napětí na čtyřech střídavých kanálech. Pro měření ve stejnosměrných obvodech je vybaven vstupem pro měření stejnosměrného napětí a proudu. Důležitá je skutečnost, že proudové sondy jsou již z výroby jednoznačně přiřazeny k měřicím kanálům. Důvodem je zkalibrování sond s jednotlivými vstupy a to, že si analyzátor nese informace o korekčních hodnotách jednotlivých sond. Díky tomu je při měření proudu dosaženo značně velké přesnosti až 0,1 %. Maximální vzorkovací frekvence G4500 je až 1 024 vzorků za periodu na napětí a 256 vzorků za periodu na proud. [9]



Obr. 14 Analyzátor Elspec G4500 [9]

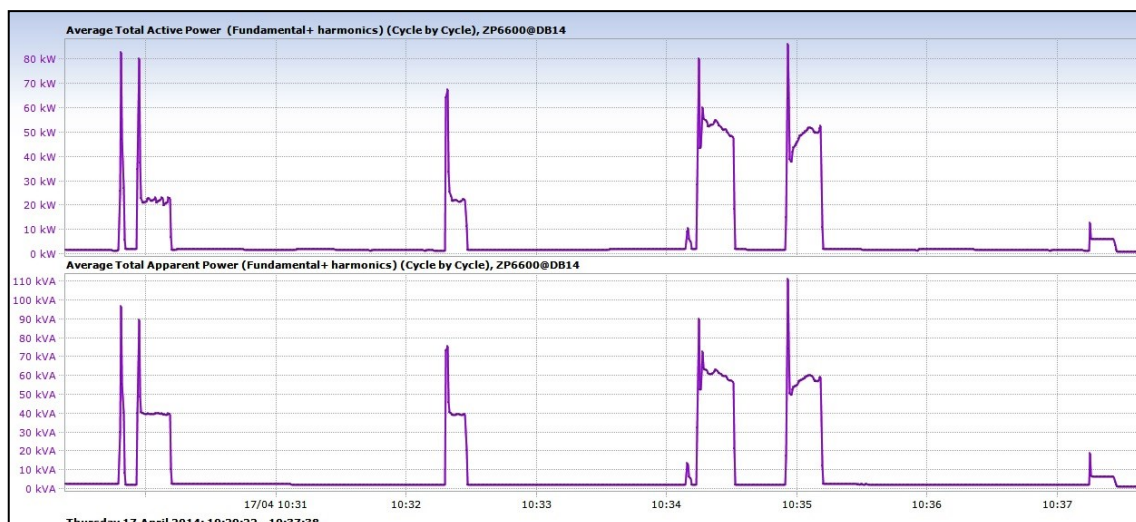
2.4.2 Výsledky měření

Měření bylo provedeno v několika sériích. Na Obr. 15 je zobrazen graf celkového průběhu napětí a proudu během celého měření, které trvalo přibližně 8 minut. Při měření byl kabelový vůz napájen prodlužovacím přívodem ze zakladače.

Nutno podotknout, že kabelový vůz byl v době měření hmotnostně zatížen navinutým kabelem 6 kV asi z 80 %. Na kabelovém voze bylo zapnuto vytápění a osvětlení. Při rozjezdu byly v činnosti obě housenice a také motor odvíjení/navíjení kabelu. Pojezd KVH byl uskutečněn v ideálních podmínkách na rovné a suché pláni. Ovšem v běžném provozu tomu vždy tak není. Občas se stává, že pláň bývá zcela podmáčená, KVH může být transportován do kopce v rámci dovoleného sklonu nebo může být zatížen navinutým kabelem na 100 %. Potom by byly naměřené hodnoty o něco vyšší. Nicméně si myslím, že pro tento návrh jsou naměřené hodnoty dostačující.



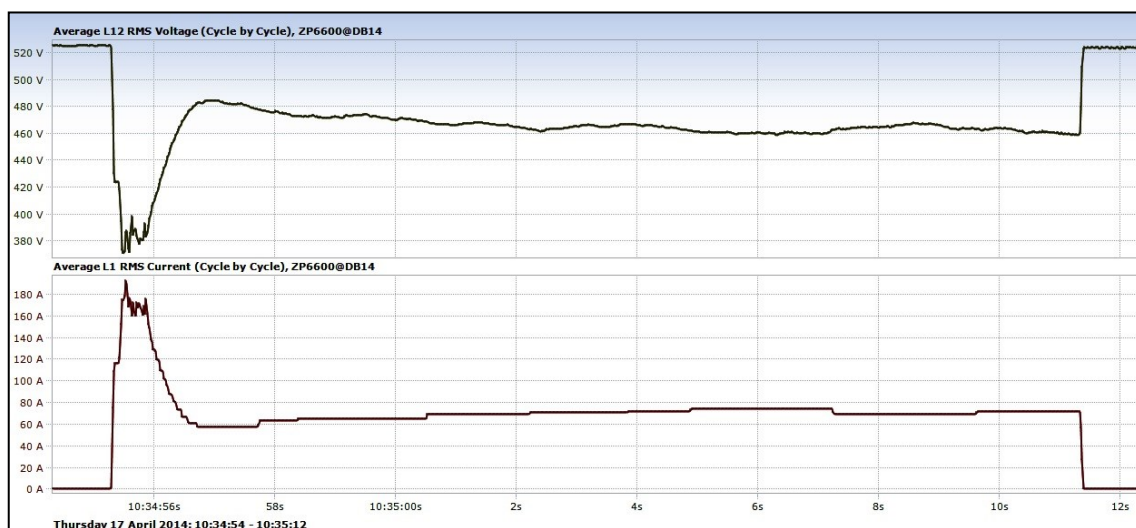
Obr. 15 Graf průběhu napětí a proudu



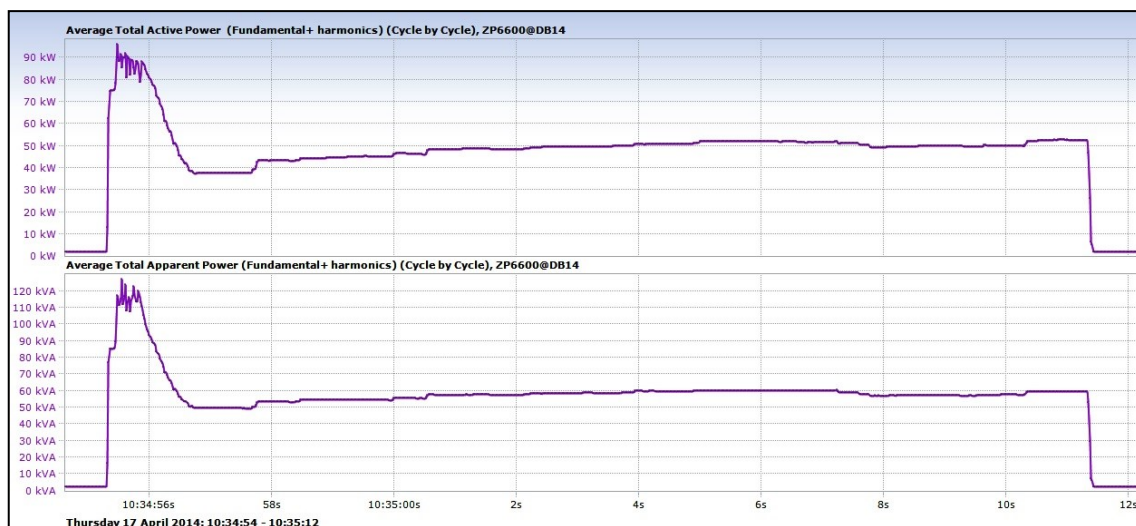
Obr. 16 Graf průběhu činného a zdánlivého výkonu

Na Obr. 16 je znázorněn graf závislosti činného a zdánlivého výkonu ve stejných časech a opět během celého měření.

Naproti tomu na Obr. 17 je zobrazen detail průběhů napětí a proudu během jednoho rozjezdu, a to přibližně v čase 10:35. Z tohoto grafu je patrné, že proudový ráz při rozběhu motorů dosahuje hodnoty zhruba 2 až 2,5 krát větší, než je jmenovitý proud motorů (pojezdové motory mají v rotoru zařazeny třístupňové odporníky). Dále se dá vyčíst, že proudový ráz trvá přibližně 1,5 sekundy. Tento údaj bude důležitý při nastavení zkratové ochrany sekundárního vinutí transformátoru. Při ustálené jízdě odebírá KVH proud přibližně 70 až 80 A.



Obr. 17 Detail průběhu napětí a proudu



Obr. 18 Detail průběhu činného a zdánlivého výkonu

Z Obr. 18 vyplývá, že KVH při ustálené jízdě odebírá přibližně 50 kW činného výkonu, což odpovídá hodnotě zdánlivého výkonu 60 kV·A. Při účinníku $\cos \varphi = 0,83$.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{50 \cdot 10^3}{60 \cdot 10^3} = 0,83 \quad (1.22)$$

3 Návrh napájení pomocí vlastního transformátoru

3.1 Požadavky kladené na transformátor

- Transformátor nesmí být olejový (viz kapitola 3.1.1)
- Musí být třífázový
- Chlazený vzduchem
- S přirozeným oběhem chladiva
- Jmenovité hodnoty:

$$U_{1n} = 6000 \text{ V}$$

$$U_{2n} = 525 \text{ V}$$

$$I_{2n\min} = 106 \text{ A}$$

3.1.1 Požár velkostroje K800.5/K65

Koncem měsíce listopadu roku 2009 došlo na Dole Bílina k požáru těžebního velkostroje KU 800.5/K65. Ohledáním místa požáru a ze svědecké výpovědi bylo zjištěno, že se tato havárie stala v přímé souvislosti s technickou závadou olejového transformátoru 35/6 kV. V důsledku této závady došlo ke zkratu na primární straně transformátoru. Podle zjištěných informací se tepelné účinky zkratu projevíly buď nadměrným ohřátím a rozstříknutím rozžhaveného kovu vodičů nebo elektrickým obloukem. Teplota elektrického oblouku dosahuje hodnoty až 4000 °C a je dostatečná k rozpálení a narušení pláště chladiče transformátoru. Narušením pláště došlo k úniku značného množství transformátorového oleje (asi 7000 l) do kabeláže a jeho následnému vznícení. Z tohoto důvodu došlo k rychlému rozšíření požáru na větší část velkostroje. Iniciačním zdrojem požáru byl v tomto případě primární zkrat. Bod vzplanutí transformátorového oleje je přibližně kolem 145 °C.

Požárem došlo k totálnímu poškození dobývacího velkostroje, bylo způsobeno vyhřátí ocelových konstrukcí stroje, přetrhání napínacích lan zdvihu a následné zřícení a deformace strojovny, která zůstala zavěšena na zbytku konstrukce, jak je patrné z Obr. 19.

V důsledku této nehody bylo rozhodnuto již dále neprovozovat olejové transformátory na velkostrojích DB z důvodu zvýšeného požárního rizika. Do konce roku 2011 byly všechny stávající olejové transformátory vyměněny za suché v rámci investičních akcí.



Obr. 19 Požár velkstroje K65

3.1.2 Výhody a nevýhody suchých transformátorů

Výhodou suchých transformátorů se zalitým vinutím je především menší požární riziko, protože použité izolační materiály jsou nesnadno zápalné a samozhášivé. Oproti olejovým transformátorům nepřispívají tyto transformátory k rozšiřování požáru a lze je použít i tam, kde by aplikace olejových distribučních transformátorů nebyla možná z důvodu požární bezpečnosti. Protože suché transformátory neobsahují žádnou izolační a chladicí kapalinu, lze je provozovat bez problémů také v místech, kde jsou zvýšené požadavky na ochranu vod.

Z celkového pohledu jsou tedy suché transformátory se zalitým vinutím v mnoha případech hospodárnějším řešením, ačkoli jsou díky své konstrukci výrazně dražší, než olejové transformátory stejného výkonu. Vyšší cena a větší rozměry jsou dány fyzikálními zákony, protože vzdálenosti požadované z hlediska elektrické pevnosti, jsou u suchých transformátorů výrazně větší.

Základní rozdíly z hlediska možnosti umístění suchých a olejových distribučních transformátorů jsou dány hygienickými (ochrana vod) a požárními předpisy. Zatímco při nasazení olejových transformátorů je většinou třeba budovat zachytné jímky a požární stěny, suché transformátory mají snížené nároky na požární stěny a zachytné jímky nevyžadují vůbec. To umožňuje nasazení suchých transformátorů ve výškových

budovách, v podzemí a v továrních halách přímo v místě spotřeby elektrické energie, čímž se snižují ztráty při rozvodu elektřiny i náklady na pokládání rozsáhlých vedení nízkého napětí. Pro výkony transformátorů do 2500 kV·A jsou uvedené výhody při instalaci suchých transformátorů vyváženy asi o jednu třetinu vyššími pořizovacími náklady ve srovnání s olejovými transformátory stejného výkonu a jmenovitého napětí, pro vyšší výkony se rozdíly v ceně snižují.

Mnohem výrazněji než u olejových transformátorů ovlivňuje životnost izolace suchých transformátorů okolní teplota a odvádění ztrátového tepla. Normální provoz a normální snižování životnosti jsou zaručeny pro následující hodnoty chladicího vzduchu (nejvýše 40 °C, střední denní hodnota 30 °C, roční střední hodnota 20 °C). V závislosti na teplotě okolí kolísá zatížitelnost transformátoru. Montáží přídavných ventilátorů lze zvýšit výkon transformátoru až o 40 %. Z ekonomického hlediska se jeví jako výhodné využití přídavných ventilátorů jako výkonové rezervy pro pokrytí krátkodobých špičkových zatížení, než pro trvalý provoz se zvýšeným výkonem zejména z důvodu výrazně vyšších ztrát proti původním štítkovým hodnotám.

Z hlediska použité technologie je hlavní předností vynikajícím způsobem zvládnuté užívání sériově spojených cívek tvořených hliníkovou fólií pro vinutí vyššího napětí a izolace složené z hmoty lité pryskyřice s vysokým podílem křemičité směsi (SiO_2). Ve spojení vakuového odlitku s použitím foliového vinutí, které vykazuje nejnižší elektrické nároky z hlediska napětí, dochází k nejlepšímu chování z hlediska částečných výbojů mezi všemi transformátory z lité pryskyřice, které se nacházejí na trhu. Suché transformátory jsou prakticky bez částečných výbojů až do dvojnásobného jmenovitého napětí. To je zárukou vysoké životnosti a nejvyšší provozní spolehlivosti těchto transformátorů. Při použití hliníku mají vodiče větší průřez než vodiče z mědi. To vede k žádoucímu zvětšení povrchu cívky (zlepšení chlazení) u vinutí z fólie a k lepšímu plnicímu faktoru (menší podíl izolační folie, vztažené k průřezu vinutí). S ohledem na přídavné ztráty se u suchých transformátorů projevuje v důsledku techniky foliového a pásového vinutí s jejich malými radiálními rozměry vodičů podstatně menší nárůst ztrát při vyšších frekvencích než u olejových transformátorů i suchých transformátorů s vinutími provedenými drátovými vodiči. Vinutí z fólie všeobecně má ve vztahu k vinutí z drátu vhodnější rozložení „závitového“ napětí. Kromě toho jsou transformátory z lité pryskyřice s vinutím z hliníku lehčí než stejné transformátory s vinutím z mědi. [11]

3.2 Výkon transformátoru

Na základě dané napěťové soustavy kabelového vozu 3PE~50 Hz, 525 V/IT a potřebného jmenovitého proudu výstupního vinutí transformátoru $I_{2N} = 107 \text{ A}$, lze vypočítat potřebný zdánlivý výkon:

$$S = \sqrt{3} \cdot U_S \cdot I_{2N} = \sqrt{3} \cdot 525 \cdot 106 = 96,4 \text{ kV} \cdot \text{A} \quad (1.23)$$

Vzhledem k vyráběné standardní produktové řadě výkonů, se jako vhodný nabízí transformátor o výkonu 100 kV·A a jmenovité hodnotě sekundárního proudu 110 A, při výstupním napětí 3 x 525 V. Ten by ovšem pracoval při jmenovitém proudu zátěže skoro se 100% výkonem. Proto byl vybrán transformátor o třídu vyšší.

Transformátor o výkonu 160 kV·A. Ten má uvedenu hodnotu sekundárního jmenovitého proudu 176 A. V našem případě tento transformátor disponuje i dostatečnou výkonovou rezervou. Což by mohlo být výhodné do budoucna.

4 Jištění

Na Obr. 11 je znázorněno schéma napájení celé technologie z transformační stanice TS 78. Konkrétně tento technologický celek, zahrnující kabelové vozy, shazovací vůz, zakladač a celou kabelovou trasu, je připojen na vývod 2.10 (V8). Tento vývod je jištěn elektronickou ochranou REF 615 s měřicím transformátorem 400/5 A. Jmenovitý proud je stanoven na 400 A. Působení ochrany je nastaveno na $1,55 I_N$ (620 A) v čase $t = 1$ s a $3 I_N$ (1200 A) v čase $t = 0,05$ s.

Z tohoto důvodu se budeme zabývat pouze vlastní ochranou transformátoru pro napájení KVH.

4.1 Vybavení transformátoru ochranami

Na základě zkušeností a doporučení ČSN 33 3051 se užívá nejčastěji těchto druhů ochran silových transformátorů:

Transformátory do výkonu $1 \text{ MV} \cdot \text{A}$:

- **proti zkratu na primární straně se jistí výkonovými pojistkami vn. Doporučuje se použití pojistky s indikací působení**
- plynové relé; pokud se jím vybaví transformátor jištěný pojistkami, slouží relé pro signalizaci. Jestliže je transformátor vybaven na primární straně vypínačem, pak se použije pro jeho chránění nadproudová ochrana a plynové relé se zapojením na vypínač.
- **transformátory vn/nn se na straně nízkého napětí jistí proti přetížení jističi s tepelnými a zkratovými články.**

4.2 Jištění primární strany transformátoru

Konkrétní přiřazení vn pojistky k transformátoru bude provedeno dle doporučení výrobce.

Musí splnit základní kritéria a to:

- **Dostatečnou vypínací schopnost.**
- **Vypnout zkrat na sekundární straně do 2 s.**
- **Nesmí vypnout magnetizační proud o velikosti $12 \times I_N$ po dobu 0,1 s.**
- **Musí zvládnout proud I_3 (min. vypínací proud pojistky) v síti.**
- **Musí být selektivní s jistícím prvkem na sekundární straně transformátoru.**

Přiřazení jmenovitého proudu pojistky k výkonu transformátoru a jeho u_k 4 % nebo 6 % musí být uvedeno na těle vn pojistky.

Funkce pojistky na primární straně transformátoru:

Před rozvahou o přiřazování pojistek vn je třeba si nejprve ujasnit, jakou funkci pojistka vn na primární straně distribučního transformátoru vůbec má. Lze to shrnout do těchto bodů:

- při zkratu na primárních svorkách transformátoru jistí vedení a zmenšuje poškození transformátoru
- při mezifázovém zkratu jistí vedení a omezuje destrukci transformátoru
- při zkratu na sekundárních svorkách jistí vinutí transformátoru před poškozením

Tato pojistka však v žádném případě nejistí transformátor před přetížením. To musí zajistit správně volené jisticí prvky nn (jističe nebo pojistky s charakteristikou gTr), které však musí být selektivní s jištěním primární strany.

Kritéria pro přiřazení pojistky vn

Aby pojistka vn plnila všechny funkce, které se od ní očekávají, a aby současně umožňovala zapnutí a chod transformátoru, včetně běžných provozních přetížení, a nevypínala při zkratech v nízkonapěťovém rozvodu, musí mít dostatečnou vypínací schopnost, musí odolávat záběrnému magnetizačnímu proudu, vypínat dostatečně rychle zkrat na sekundárních svorkách, zvládat nejmenší zkratové proudy v obvodu a být selektivní s jisticími prvky nízkonapěťové strany. Tyto požadavky jsou zajišťovány následujícími kritérii:

Vypínací schopnost

S tímto kritériem nejsou žádné potíže, neboť v českých sítích vn je dosahováno hodnot max. do 12,5 kA. Pojistky PL 45 mají vypínací schopnost 50 kA. Tyto parametry významně přesahují uvedené dosahované hodnoty, a není proto nutné se jimi dále zabývat.

Odolnost proti magnetizačnímu proudu transformátoru

Předřazená pojistka vn nesmí vypnout magnetizační proud při spouštění transformátoru, jehož maximální hodnota je uvažována jako dvanáctinásobek I_N po dobu 100 ms. Splnění tohoto požadavku lze snadno zjistit z tab. ampérsekundové charakteristiky (uveřejněné v katalogu).

Včasné vypnutí zkratu na sekundárních svorkách transformátoru

Podle ČSN EN 60076-5 musí transformátor bez poškození odolat zkratu na sekundárních svorkách po dobu 2 s. Předřazená pojistka vn tedy musí do této doby primární zkratový proud vypnout. Hodnota zkratového proudu se zjišťuje ze vzorce (1.18).

Zvládnutí nejmenších zkratových proudů v obvodu (I_3)

Pojistky vn používané pro jištění distribučních transformátorů jsou obvykle pojistky s tzv. omezeným rozsahem funkce. Rovněž pojistky PL mají tuto vlastnost. Znamená to, že tyto pojistky neumějí určitou oblast nízkých nadproudů vypínat. I_3 je hodnota proudu, který tuto zakázanou oblast shora ohraničuje a již je vypínání schopen. Kdyby pojistka v této oblasti vypínala, nastalo by nadměrné oteplení pouzdra a kontaktů, které by mohlo poškodit okolí (zejména u zapouzdrěných rozvodů). Popřípadě může dojít až k destrukci pouzdra a vysypání písku s možností následné exploze. Přesto je použití těchto pojistek výhodné, a to zejména proto, že jsou levnější a tuto zakázanou oblast při správném přiřazení pro svou funkci nepotřebují. Nejistí totiž přetížení a jsou přiřazovány se jmenovitým proudem dvakrát až třikrát větším, než je jmenovitý proud transformátoru. Jinak by totiž nebyly schopny přenést magnetizační proudy. V tomto kritériu se tedy sleduje, zda v místě transformátoru se při zkratu na sekundárních svorkách vyvine dostatečně velký primární proud – větší než proud I_3 pojistky.

Selektivita s jisticími prvky nízkonapětové strany

Posledním kritériem, nikoliv však významově, je selektivita. Ta, je-li správně nastavena, zajistí v případě zkratu, že v jednotlivých vývodech nevypne hlavní jistič, popř. pojistka gTr , a při zkratu na vývodních svorkách jističe nebo pojistkového odpínače s pojistkami gTr nedojde k přetavení pojistek vn. [13]

4.2.1 Zásady jištění primární strany transformátoru proti nadproudům

Ačkoliv způsob jištění a nastavení vypínacích parametrů ochran má být stanoven projektem, je častým jevem chybné nastavení jejich vypínacích hodnot. K posouzení a volbě správného jištění není postačující znalost technických norem, ale je i nutno znát fyzikální princip funkce transformátoru, význam jeho štiťkových parametrů, zejména jmenovitých napětí a proudů (primárních i sekundárních), napětí nakrátko a přípustnou dobu trvání největšího zkratového proudu (kovový třífázový zkrat na sekundární straně), který – není-li výrobcem uvedeno jinak – je stanoven technickou normou na 2 s. Dále je nutná znalost maximálních neporuchových provozních proudů a nárazového (zapínacího) proudu, jehož průběh tvoří časově rychle klesající exponenciála, avšak s vrcholovou hodnotou proudu dosahující až čtrnáctinásobku jmenovitého proudu I_N . Tento zapínací proud je přechodový, doba zániku na velmi malý proud naprázdno (asi 1,5 % I_N) je závislá na konstrukci a výkonu transformátoru a pohybuje se u transformátorů do 2,5 MV·A v rozmezí 0,2 až 0,3 s. Hodnota nárazového zapínacího proudu je závislá i na hodnotě napětí v okamžiku zapnutí. Největší hodnota

rázového proudu nastává při zapnutí transformátoru v čase, kdy napětí je blízké nule a naopak. [12]

4.2.2 Provozní proudy nepřesahují jmenovitý proud transformátoru

Nepřesahují-li dosavadní a výhledově předpokládané provozní proudy (i krátkodobého trvání např. po dobu rozběhu výkonově největších asynchronních nebo synchronních elektrických motorů nakrátko) jmenovitý proud I_N transformátoru, je vhodné nastavit vypínací parametr proudu I_a ochrany na 125 % I_N transformátoru. Parametr časového zpoždění vypnutí t_a se volí s ohledem na selektivitu jištění, tj. tak, aby byl při poruše vypnut pouze vlastní poruchový vývod transformátoru. Zbylá neporuchová část elektrorozvodné soustavy má zůstat zapnuta. S ohledem na rázový zapínací proud se nastaví u transformátorů vn/nn do 2,5 MV·A vypínací čas t_a na 0,3 s a větší, ne však delší, než je výrobcem stanovena maximální doba trvání zkratu, která bývá do 2 s.

Obecně platí doporučené vztahy:

$$I_p < I_a \leq 1,25 I_n \quad (1.24)$$

$$0,3 \text{ s} \leq t_a < 2 \text{ s} \quad (1.25)$$

Kde I_p je největší provozní proud, včetně krátkodobých špiček při spouštění velkých elektromotorů, I_a vypínací hodnota parametru proudu ochrany, t_a vypínací hodnota času ochrany. [12]

4.2.3 Provozní proudy přesahují jmenovitý proud transformátoru

Jsou-li provozní proudy v krátkodobých intervalech větší než jmenovitý proud transformátoru, nastavuje se vypínací parametr proudu I_a na hodnotu, která je asi o 30 % větší než maximální provozní proud (maximálním provozním proudem se rozumí běžný zatěžovací provozní proud zvětšený o nárůst krátkodobých rozběhových proudů elektromotorů nakrátko největších současně spouštěných výkonů). Není-li transformátor trvale proudově vytížen (alespoň na 80 % jmenovité hodnoty), nezpůsobí ani až trojnásobné překročení jmenovitého proudu po dobu spouštění (max. 50 s) jeho přehřátí. Kromě toho musí být transformátor chráněn proti trvalému přetěžování proudovou časově závislou ochranou s inverzní charakteristikou (převážně na straně nn ochrana jističem) nebo je vinutí chráněno vestavěnými tepelnými čidly. Následně se vykoná kontrola, zda primární proud na straně vn při vzniku dvoufázového zkratu

I_{2K} na sekundární straně transformátoru je alespoň o 25 % větší než nastavená vypínací hodnota proudu I_a .

Platí tedy vztahy:

$$I_a \geq 1,3 I_p \quad (1.26)$$

$$1,25 I_a \leq I_{2K} \quad (1.27)$$

$$0,3 s \leq t_a < 2 s \quad (1.28)$$

Kde I_p je největší provozní proud, včetně krátkodobých špiček při spouštění velkých elektromotorů, I_a vypínací hodnota parametru proudu ochrany, t_a vypínací hodnota času ochrany, I_{2K} hodnota primárního proudu při dvoufázovém zkratu na nn straně transformátoru.

S vyhovující mírou přesnosti jsou hodnoty třífázových a dvoufázových zkratových proudů na primární straně vn dány vztahy:

$$I_{3K} = k \cdot \frac{I_N}{u_k} \cdot 100 \quad [A; -, A, \%] \quad (1.29)$$

$$I_{2K} = k \cdot \frac{I_N \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot u_k} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot k \cdot \frac{I_N}{u_k} \cdot 100 = 0,866 \cdot I_{3K} \quad [A; -, A, \%] \quad (1.30)$$

Kde I_N je jmenovitý primární proud (na straně vn) transformátoru, I_{3K} proud na primární straně (vn) při třífázovém zkratu na svorkách sekundární strany transformátoru, I_{2K} proud na primární straně (vn) při dvoufázovém zkratu na svorkách sekundární strany transformátoru, u_k napětí nakrátko transformátoru v %, k je konstanta útlumu napájecího vedení k transformátoru a napájecí sítě (volí se 0,8 až 0,9).

V případě, že útlum napájecí sítě a napájecího vedení k transformátoru již není zanedbatelný (např. zkratový výkon napájecí sítě nedosahuje alespoň čtyřnásobku výkonu transformátoru nebo je napájecí vedení k transformátoru dlouhé), převede se u_k na skutečné hodnoty v ohmech nebo se složky impedance vedení převedou na poměrné procentní hodnoty, sečtou se a vykoná se upřesňující výpočet.

Výpočet je snadný, měl by ho zvládnout každý revizní technik pomocí kapesní kalkulačky, ví-li, že:

$$u_k = \frac{I_N \cdot Z_K}{U_f} \cdot 100 = \frac{Z_K}{Z_N} \cdot 100 = \frac{I_N}{I_{3K}} \cdot 100 \quad [\%; A, \Omega, V] \quad (1.31)$$

Kde u_k je poměrná hodnota napětí nakrátko v %, Z_K skutečná hodnota impedance nakrátko transformátoru nebo skutečná impedance vedení, popř. nadřazené soustavy v ohmech, $Z_N U_f/I_N$ jmenovitá impedance transformátoru v ohmech nebo zvoleného vztažného výkonu, z něhož se vypočte, I_{3K} proud třífázového zkratu transformátoru nebo rozvodné soustavy se zvoleným vztažným výkonem, I_N jmenovitý proud transformátoru nebo rozvodné soustavy se zvoleným vztažným výkonem, U_f fázové napětí soustavy, ve které se výpočet vykonává. [12]

4.2.4 Výběr pojistky

Pokud je to nutné, je třeba vybavit stranu primárního vinutí pomalými pojistkami o hodnotě 1,5 až 2 násobek jmenovitého proudu. Z katalogu firmy OEZ byla vybrána dle zadaných kritérií pojistková vložka Varius typu PL s hodnotou jmenovitého proudu 25 A, což je přibližně 1,6 násobek I_{1N} transformátoru.

$$I_{1N} = 15,4 \text{ A}$$

4.3 Jištění sekundární strany transformátoru

Sekundár se vždy jistí na jmenovitý proud I_{2N} . Samozřejmě je třeba zohlednit záběrový proud motorů.

$$I_{2N} = 176 \text{ A}$$

4.3.1 Zásady jištění transformátoru strany nn (sekundární) proti nadproudům

Transformátory vn/nn mají, kromě speciálních transformátorů (např. pro usměrňovače), na sekundární straně převážně jistič, který je vybaven proudově závislou ochranou (s inverzní charakteristikou) proti přehřátí transformátoru nadproudem a zkratově nezávislou ochranou reagující mžikově v čase asi 50 ms. Jističe současné i předcházející generace mají široké rozmezí nastavení parametrů vypínacích hodnot proudů, což při jejich správném nastavení umožňuje dosáhnout dobré selektivity působení, tj. zajistit vypnutí transformátoru pouze v případě poruchy příslušného chráněného úseku.

Hodnoty proudově závislých článků jističů (proti přetížení) bývají nastaveny správně. Naproti tomu proudově nezávislé zkratové články jsou v mnoha případech nastavovány na příliš velké hodnoty, které nejsou ničím odůvodněny. V případě zkratu za jističem v jeho chráněném úseku je pak skutečný zkratový proud I_{3K} nebo dvoufázový zkratový proud I_{2K} menší než

nastavená vypínací hodnota proudu I_a a vzniklý zkrat je vypínán v delším čase záložní ochranou nebo výkonovými pojistkami na primární straně. [12]

4.4 Kompaktní jističe Modeion

Kompaktní jističe Modeion firmy OEZ jsou určeny pro jištění a méně časté spínání elektrických zařízení od 40 A do 1600 A. Hlavní výhodou je promyšlená stavebnicovost příslušenství. Díky tomu si může nadproudové spouště a další příslušenství uživatel sám snadno vyměnit. Jističe Modeion mohou řešit náhrady starších jističů bez úprav rozvaděče. Jsou vhodné pro jištění vedení, transformátorů, motorů a generátorů. [10]

Podle stanovených kritérií byl z katalogu firmy OEZ vybrán jistič Modeion BD-250-NE-305, doplněný nadproudovou spouští SE-BD-0250-MTV8, viz Obr. 20.

Modeion BD 250 NE 305



Obr. 20 Jistič Modeion [10]

Technické údaje:

Jmenovitý pracovní proud	100 A, 160 A, 200 A, 250 A
Jmenovité pracovní napětí	690 V a. c.
Jmenovitý kmitočet	50-60 Hz

Kategorie užití (režim spínání) / 690 V a. c.

AC-23B

Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost / 500 V

16 kA/25 kA

4.4.1 Nadproudová spoušť

Nadproudová spoušť je součástí každého jističe, která měří a monitoruje velikost procházejícího proudu jističem. Jejím hlavním úkolem je dát impuls k vypnutí jističe, dojde-li k překročení hodnoty proudu, která je dána vypínací charakteristikou každého jističe resp. nadproudové spouště. Samotné vypnutí na základě impulsu od nadproudové spouště má na starosti spínací systém – druhá hlavní část každého jističe.

Rozdělení

Nadproudové spouště můžeme rozdělit na dva základní typy, elektronické a termomagnetické (bimetalové). Elektronické spouště mohou být řešeny pomocí diskrétních součástek a integrovaných obvodů. Termomagnetické spouště používají pro vyhodnocení přetížení bimetal a pro vyhodnocení zkratu magnetický obvod. Jistič BD 250 má elektronickou spoušť.

Vlastnosti, parametry

Jističe s termomagnetickou i elektronickou nadproudovou spouští jistí proti přetížení i zkratu. Vypnutí jističe je dáno vypínací charakteristikou nadproudové spouště. Vypínací charakteristika definuje, za jaký čas jistič vypne při průchodu proudu většího než je proud jmenovitý I_N resp. redukovaný I_r .

Vypínací charakteristiku můžeme rozdělit na dvě zásadní pásma:

První pásmo chrání jištěné zařízení proti PŘETÍŽENÍ. Slangový název tohoto pásma je tepelná spoušť. Podle normy ČSN EN 60 947-2 je toto pásmo označené „závislá časová spoušť“

Závislá časová spoušť znamená, že čas vypnutí závisí, a to nepřímo, na velikosti proudu, tzn. čím je větší proud (přetížení), tím spoušť vypne v kratším čase. Čas vypnutí je dán vypínací charakteristikou nadproudové spouště. Mez přetížení je dána jmenovitým proudem I_N resp. redukovaným proudem I_r - hodnotu I_r lze u většiny typů nadproudových spouští nastavit. Hodnota I_N nebo I_r nesmí být nikdy vyšší než jmenovitý proud jištěného zařízení.

Norma ČSN EN 60 947-2 udává dvě pevné hodnoty času a proudu, které musí každý jistič vždy splňovat:

Smluvený nevypínací proud

- jistič nesmí vypnout 1,05 násobek I_N nebo I_r do 2 hodin

Smluvený vypínací proud

- jistič musí vypnout 1,3 násobek I_N nebo I_r do 2 hodin

(pro jištění motorů platí 1,2 násobek I_N/I_r)

- jističe s I_N/I_r menším než 63 A mají smluvený nevypínací a vypínací čas 1 hodinu

- zbylá část vypínací charakteristiky je dána výrobcem (norma udává max. tolerance hodnot pro jednotlivá pásma) U některých nadproudových spouští lze nastavit čas vypnutí tepelné spouště při 7,2 násobku I_r - parametr t_r – tzv. zpoždění tepelné spouště a umožnit tak např. rozběh motoru (rozběh může trvat až 30 s a proud dosahuje v průměru 7,2 násobek I_N).

Druhé pásmo chrání zařízení proti ZKRATU. Slangový název je zkratová spoušť. Podle normy ČSN EN 60 947-2 je toto pásmo označené „nezávislá časová spoušť“ - parametr I_i . Nezávislá časová spoušť znamená, že čas vypnutí je nezávislý na velikosti proudu, jakmile proud dosáhne určité velikosti, jistič okamžitě vypíná (čas vypnutí je 10 až 30 ms, některé nadproudové spouště umožňují nastavit zpoždění 50 ms). Hodnotu zkratové spouště I_i lze u většiny typů nadproudových spouští nastavit a tím se přizpůsobit impedanční smyčce nebo umožnit spuštění motoru.

Speciální nadproudové spouště

Pásmo jištění proti zkratu je ještě rozděleno, obsahuje kromě zkratové spouště i selektivní spoušť. Podle normy ČSN EN 60 947-2 je toto pásmo nazýváno nezávislá časová zpožděná spoušť – parametr I_{sd} . Na rozdíl od zkratové spouště může mít selektivní spoušť zpoždění až 1000 ms – parametr t_{sd} . Tím lze dosáhnout vyšší nebo úplné selektivity s přiřazenými nebo předřazenými jističi nebo pojistkami. [10]

Konkrétní nastavení nadproudové spouště

Nadproudová spoušť jističe Modeion se nastaví na hodnotu odpovídající součtu jmenovitých proudů všech spotřebičů KVH, to je přibližně 110 A. Časová prodleva pro rozběh motorů bude nastavena na 3 sekundy.

5 Realizace napájení dle návrhu

5.1 Shrnutí návrhu a výběr komponent

Z důvodu značné finanční náročnosti nákupu nového transformátoru bych se přikláněl k použití staršího z vlastních skladových zásob Dolů Bílina. Tento transformátor by prošel celkovou repasí u dceřiné firmy Prodeco.

Transformátor je suchý, typu DTKa 160, viz Obr. 21.



Obr. 21 Transformátor DTKa 160

Štítkové údaje:

Jmenovitý výkon	160 kV·A
Jmenovité napětí sekundární strany	6000 V
Jmenovité napětí primární strany	525 V
Jmenovitý proud sekundární strany	15,4 A
Jmenovitý proud primární strany	176 A
Napětí nakrátko	3,9 %
Chlazení	AN
Frekvence	50 Hz
Zapojení	Yy0
Tepelná třída	H
Maximální délka zkratu	2 s
Váha	750 kg
Rok výroby	1979

Jediný komponent, který se bude muset objednat nový, je jistič s nadproudovou spouští Modeion.

Vše ostatní lze pořídit ze skladových zásob. Například odpojovač, pojistkové vložky vn, pojistkový držák vn, kabeláž, rozvaděčovou skříň nn, zásuvku, tlačítko nouzového vypnutí, apod.

5.2 Provedení návrhu

Kabelový vůz slouží k napájení zakladače napětím 6 kV. Z jedné strany je k němu pevně připojen kabelovou smyčkou a z druhé odvíjí vlečný kabel ze svého bubnu od přípojného místa, vzdáleného i několik kilometrů. Proto se v případě potřeby zařazuje i více kabelových vozů za sebou. To umožňuje velkostroji kráčet dle báňských postupů prakticky po celé délce skrývkového řezu.

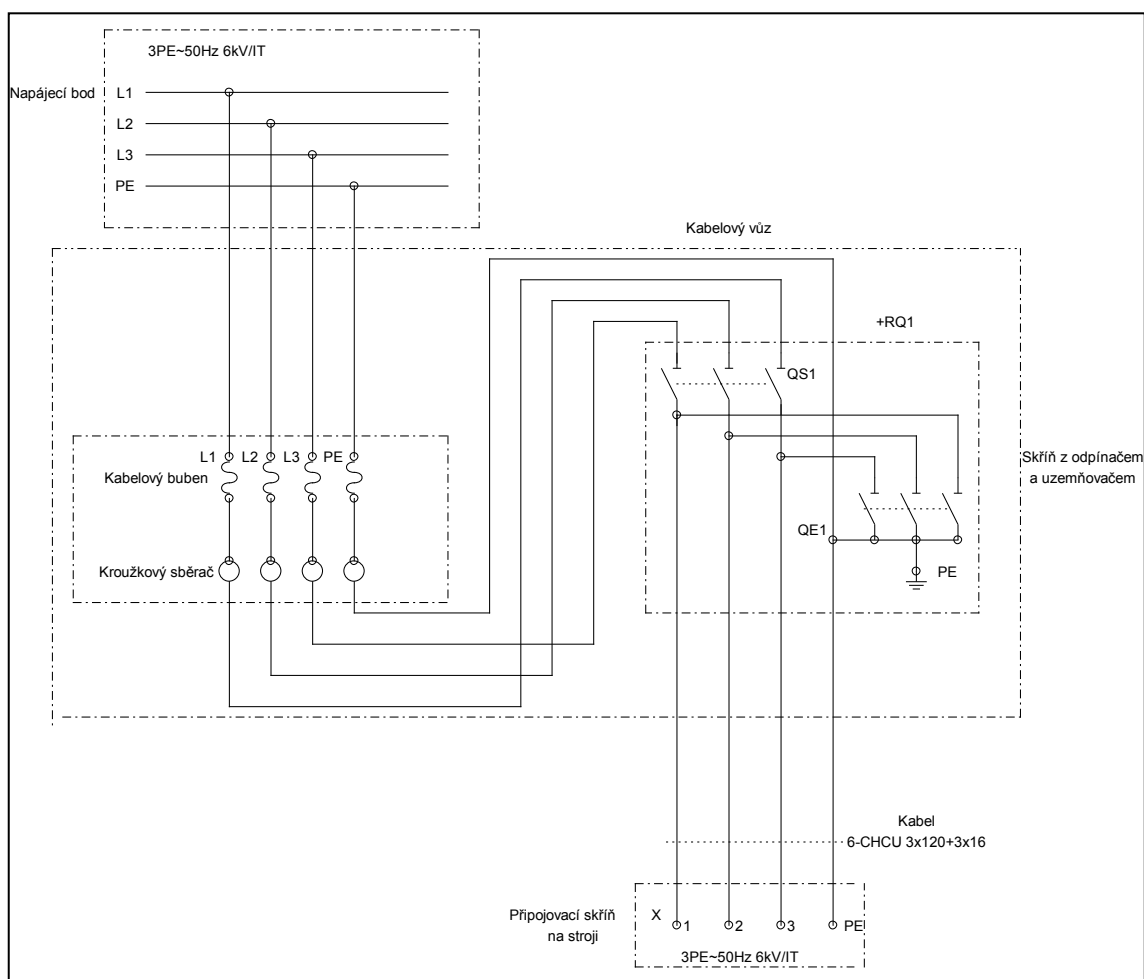
Kabelový vůz se tedy nachází v těsné blízkosti velkostroje a pohybuje se spolu s ním.

Pro svou vlastní činnost (pojezd, odvíjení a navíjení bubnu, osvětlení, vytápění kabiny řidiče) je KVH napájen ze soustavy 3x525 V velkostroje prodlužovacím přívodem.

V případě přestaveb technologického celku, při různých manipulacích nebo při dlouhých přesunech samotného KVH je napájen z vlastního dieselagregátu 75 kV·A, pokud je jím vybaven.

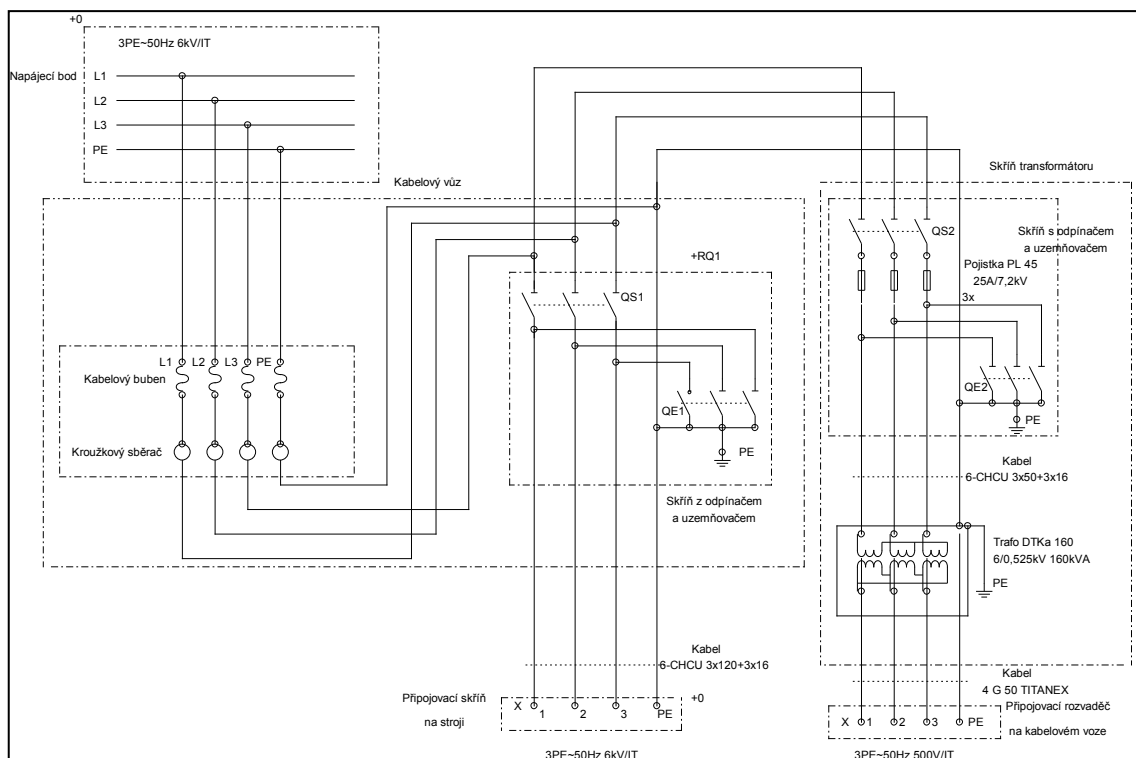
Pro kabelové vozy bez vlastního dieselagregátu je k dispozici mobilní agregát, který se musí ke stroji dovézt, natankovat naftou, připojit a zajistit pojez spolu s kabelovým vozem.

Z důvodu značné časové náročnosti této přípravy vznikl návrh napájet KVH přímo ze soustavy 6 kV, která kabelovým vozem pouze prochází a napájí základní technologický celek, jak je patrné ze schématu na Obr. 22.



Obr. 22 Původní zapojení vn části KVH

V původním zapojení vn části KVH prochází napěťová soustava kabelovým bubnem přes kroužkovou komoru na odpojovač QS1. Jeho součástí je i uzemňovač s aretací QE1, který slouží pro uzemnění přívodu pro ostatní části strojů například při revizích. Z odpojovače vede kabel dále do technologie.



Obr. 23 Navrhované zapojení vn části KVH

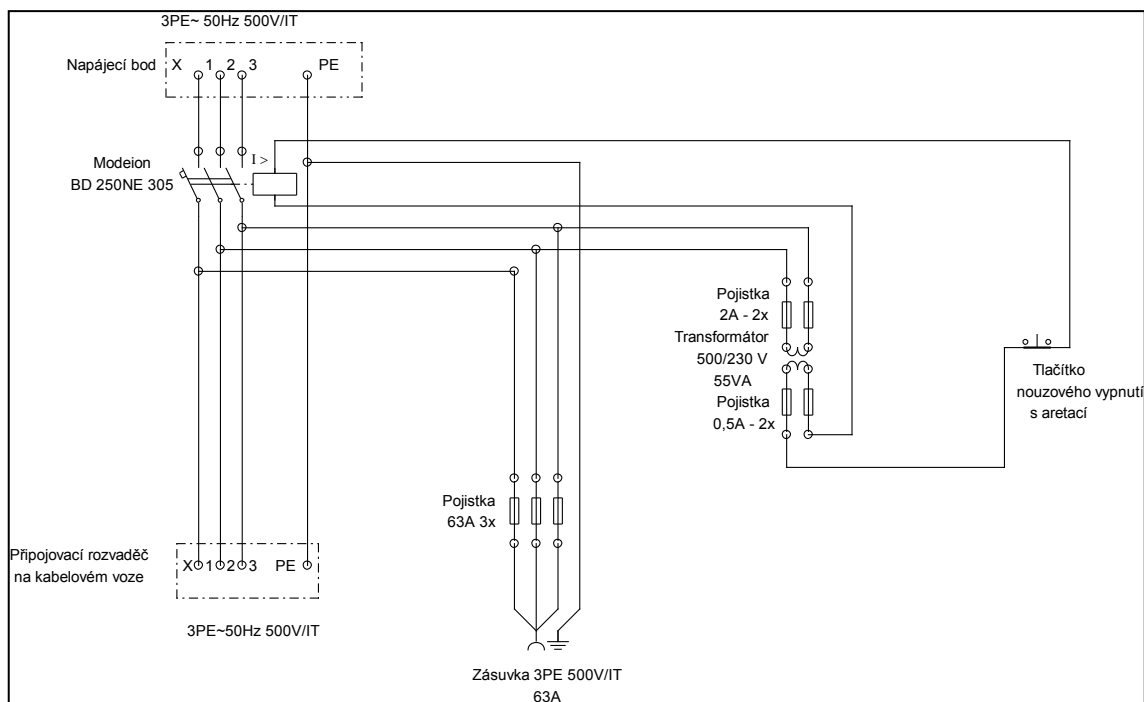
Návrh spočívá v tom, že se na KVH umístí transformátor 6/0,525 kV, 160 kV·A, který slouží pouze ke krytí vlastní spotřeby kabelového vozu. Z odpínače QS1 v rozvaděči se provede odbočka, kterou bude tento transformátor napájen přes vlastní odpojovač s uzemňovačem a pojistkový spodek s vn pojistkami. Celé toto zařízení bude umístěno do plechové rozvodny, složené ze dvou částí. V jedné části bude instalován samotný transformátor a v druhé odpojovač s uzemňovačem a pojistkový spodek s pojistkovými vložkami, při respektování platných norem ČSN.

Schéma zapojení vysokonapěťové části je na Obr. 23.

Na boční straně této rozvodny bude umístěn malý rozvaděč v plastové skříni, ve kterém bude zabudován jistič sekundární strany transformátoru – Modeion a čtyřpólová vestavná zásuvka 3 x 525 V, 63 A, jištěná nožovými válcovými pojistkami 500 V/62 A, a která bude sloužit k připojení dalších spotřebičů, například svářečky.

Na rozvaděči musí být umístěno i aretační tlačítko nouzového vypnutí, které, po stlačení v případě nebezpečí, odepne jistič Modeion a ten přeruší napájení 500 V rozvedené dále po kabelovém voze.

Zde vzniká trochu problém, protože dle normy ČSN EN 60204-1 ed.2 je v čl. 9.1.2., stanovena hodnota 277 V jako maximální napětí pro ovládací a řídicí obvody.



Nicméně řešení se nabízí v umístění převodního transformátoru 500 V/230 V přímo do rozvaděče. Jištění primární i sekundární strany je provedeno v souladu s doporučením výrobce transformátoru.

Provedení je patrné z Obr. 24.

Závěr

Popisovaný návrh v této diplomové práci spočívá v tom, že by měl být na kabelový vůz nainstalován transformátor, který by hradil celou vlastní spotřebu KVH.

Výhodou tohoto návrhu by měla být především časová úspora v případech, kdy dochází k manipulacím s kabelovým vozem při přestavbách. Pokud není vybaven vlastním dieselagregátem, je potřeba k němu dopravit mobilní dieselagregát. Jeho doprava, příprava, tankování nafty, zprovoznění a zapojení vždy zabere nějaký čas.

Další výhodou je, že v případě provozu již nemusí být kabelový vůz napájen z elektrické soustavy velkostroje a tudíž by mohl být zrušen prodlužovací přívod. Tento kabel je velice náchylný zejména k poškození svého pláště při pojezdech a manipulacích při kráčení velkostroje a musí být velmi často kontrolován jeho stav a dle potřeby zajišťována jeho oprava, nebo výměna za nový.

V případech, kdy není kabelový vůz připojen k napájecímu místu 6 kV, nemá vlastní dieselagregát a je vyžadován jeho dlouhý přesun, například mezi jednotlivými skřívkovými řezy, musí být stále napájen z mobilního dieselagregátu. Ovšem k těmto přesunům dochází velmi zřídka.

Seznam použité literatury

- [1] CIGÁNEK, Ladislav. *Elektrické stroje*. 6. upravené vydání. Praha, 1951. Technicko-vědecké nakladatelství.
- [2] STÝSKALA, Vítězslav. *Transformátory*. Ostrava, 1998. Skriptum. VŠB – TU Ostrava.
- [3] KIJOVSKÝ, František. *Transformátory – podklady pre výuku v elektronickej forme*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [4] ISS - COP. *Elektrické stroje: Transformátory*, skriptum ISS Valašské Meziříčí [online]. Dostupné z: <http://www.jsmilek.cz/skripta%20pdf/esp%208%20trafa%20skripta.pdf>
- [5] *Rozvody VN - Doly Bílina: Přehledové schéma*. [online]. Dostupné z: vnitřní databáze Intranetu DB
- [6] VŽKG OSTRAVA, pobočka Teplice. *Návod na obsluhu a údržbu KVH 3: Část elektro*. Teplice, 1971.
- [7] BEZ BRATISLAVA. *Návod na obsluhu – elektrocentrála ČSAD 60-3-500*. Bratislava, 1981.
- [8] *Elektrotechnické merania – 3. Kontrola spojenia vinutí 3f transformátora – Hodinový uhol* [online]. [cit. 10. 4. 2014]. Dostupné z: http://tomyk.yweb.sk/?page_id=92
- [9] *Analyzátor kvality elektrické sítě Elspec g4500* [online]. [cit. 25. 3. 2014]. Dostupné z: <http://www.blue-panther.cz/analyzator-kvality-elektricke-site-elspec-g450>
- [10] *Kompaktní jističe Modeion* [online]. [cit. 12. 3. 2014]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/produkty/bd250-kompaktni-jistice>
- [11] *Konstrukční řešení, instalace a provoz suchých distribučních transformátorů* [online]. [cit. 12. 3. 2014]. Dostupné z: http://www.ceskaenergetika.cz/nezarazene_clanky/konstrukcni_reseni_instalace_a_provoz_suchych.html
- [12] BERNARD, Lukáš. *Závady v jištění výkonových transformátorů* [online]. [cit. 25. 3. 2014]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38057
- [13] *Pojistky VN Varius* [online]. [cit. 17. 3. 2014]. Dostupné z: http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/1326-z01-13_cz_sk.pdf

Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma jednofázového transformátoru [2]	3
Obr. 2 Náhradní schéma ideálního transformátoru [3]	5
Obr. 3 Náhradní schéma skutečného transformátoru [3]	5
Obr. 4 Fázorový diagram skutečného transformátoru [3]	7
Obr. 5 Náhradní schéma transformátoru naprázdno [3]	8
Obr. 6 Fázorový diagram transformátoru naprázdno [3]	9
Obr. 7 Náhradní schéma transformátoru nakrátko [3]	10
Obr. 8 Fázorový diagram transformátoru nakrátko [3]	11
Obr. 9 Zapojení vinutí trojfázových transformátorů [8]	13
Obr. 10 Kabelový vůz housenicový	14
Obr. 11 Schéma napájení technologických celků [5]	15
Obr. 12 Dieselagregát KVH	17
Obr. 13 Detail pohonů pojezdu KVH	19
Obr. 14 Analyzátor Elspec G4500 [9]	23
Obr. 15 Graf průběhu napětí a proudu	23
Obr. 16 Graf průběhu činného a zdánlivého výkonu	24
Obr. 17 Detail průběhu napětí a proudu	24
Obr. 18 Detail průběhu činného a zdánlivého výkonu	25
Obr. 19 Požár velkostroje K65	27
Obr. 20 Jistič Modeion [10]	36
Obr. 21 Transformátor DTKa 160	39
Obr. 22 Původní zapojení vn části KVH	41
Obr. 23 Navrhované zapojení vn části KVH	42
Obr. 24 Zapojení pomocných obvodů	43